

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΠΟΛΗΣ
TYPICAL GREEK TOWN POWER GRID ANALYSIS



ΜΠΑΛΤΣΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΟΠΟΝΤΕΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΤΕΝΑ ΑΦΡΟΔΙΤΗ

ΒΟΛΟΣ 2014

Φωτογραφία εξωφύλλου: Υ/Σ Δήμου Παύλου Μελά Θεσσαλονίκης, Ιούλιος 2014
[1]

Αντί προλόγου

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σταμούλη Γεώργιο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Κτενά Αφροδίτη για τη σημαντική βοήθειά της στην περάτωση της εργασίας μου. Οι οδηγίες και οι παρατηρήσεις της ήταν κάτι παραπάνω από πολύτιμες. Η συνεργασία μας ήταν άριστη τόσο από επιστημονική όσο και από πρακτική πλευρά. Ακόμη, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Μπαϊμπάκη Σπύρο για την άψογη ξενάγησή του σε Υ/Σ και τις χρήσιμες πληροφορίες που μου έδωσε χωρίς τις οποίες δε θα μπορούσε να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Ξιφαρά Ιωάννη για τις πολλές και χρήσιμες πληροφορίες που μου προσέφερε αλλά και γιατί ήταν πάντα διαθέσιμος να απαντήσει κάθε μου ερώτηση. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους φίλους και την οικογένειά μου που στάθηκαν δίπλα μου τόσο στη δημιουργία της εργασίας αυτής όσο και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Μπάλτσου Γεωργία

Βόλος, 2014

Στον Αλέξανδρο, στους φίλους και στην οικογένειά μου

Περιεχόμενα

Πίνακας Συντομογραφιών	11
Κατάλογος Πινάκων	13
Κατάλογος Εικόνων	15
Περίληψη	17
Abstract.....	19
Εισαγωγή.....	21
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	23
1.1 Ιστορική Αναδρομή κι Απαρχές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας	23
1.2 Σημερινή Εικόνα της Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα	26
1.3 Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς	32
1.3.1 Υ/Σ 150kV/MT	33
1.3.2 KYT	34
1.3.3 Γραμμές Μεταφοράς	34
1.3.4 Άεργος Ισχύς και Ευστάθεια του Συστήματος.....	35
1.3.4.1 Συμβατικά Κλιματιστικά Μηχανήματα.....	36
1.3.4.2 Αρδευτικά Συστήματα Άντλησης.....	37
1.3.5 Συσκευές Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος	38
1.3.5.1 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με Πυκνωτές	38
1.3.5.2 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με Στρεφόμενους Πυκνωτές	38
1.3.5.3 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με Στατούς Αντισταθμιστές	38
1.3.5.4 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με Σύγχρονους Στατούς Αντισταθμιστές	38
1.3.6 Διεθνείς Διασυνδέσεις	39
Κεφάλαιο 2 : Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	41
2.1 Βασικά Στοιχεία Γραμμών Μεταφοράς	41
2.2 Στοιχεία Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς	42

2.2.1 Αγωγοί	42
2.2.2 Πυλώνες/Πύργοι	44
2.2.3 Μονωτήρες.....	46
2.2.4 Στοιχεία Σύνδεσης	49
2.3 Μοντελοποίηση Γραμμών Μεταφοράς	49
2.4 Χαρακτηριστικά Γραμμών Μεταφοράς	50
2.4.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά.....	50
2.4.1.1 Αυτεπαγωγή	50
2.4.1.2 Ωμική Αντίσταση	53
2.4.1.3 Χωρητικότητα.....	54
2.4.1.4 Αγωγιμότητα.....	55
2.4.2 Μηχανικά Χαρακτηριστικά	55
Κεφάλαιο 3 : Υποσταθμοί	57
3.1 Γενικά	57
3.2 Τύποι Υποσταθμών	57
3.2.1 Υποσταθμοί Διανομής.....	58
3.2.2 Υποσταθμοί Μεταφοράς	58
3.2.2.1 Υποσταθμοί Ανύψωσης Τάσης.....	58
3.2.2.2 Υποσταθμοί Υποβιβασμού Τάσης	59
3.2.2.3 Υποσταθμοί Ζεύξεως ή Διασυνδέσεως	59
3.3 Δομή Υποσταθμών	59
3.3.1 Μετασχηματιστές	60
3.3.1.1 Μετασχηματιστές με Μόνωση Λαδιού	61
3.3.1.2 Μετασχηματιστές Ξηρού Τύπου με Μόνωση Χυτορητίνης	61
3.3.2 Διακόπτες Ισχύος	62
3.3.2.1 Διακόπτες Αέρος.....	63
3.3.2.2 Διακόπτες Λαδιού	64
3.3.2.3 Διακόπτες Πτωχού Ελαίου	65
3.3.2.4 Διακόπτες Κενού Αέρος.....	66
3.3.2.5 Διακόπτες Εξαφθοριούχου Θείου (SF ₆)	67
3.3.3 Αποζεύκτες-Γειωτές.....	68
3.3.4 Ζυγοί	69

3.3.4.1 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Ζυγών	71
3.3.5 Κυψέλη	72
Κεφάλαιο 4 : Ανάλυση Γραμμής Υ/Σ Ψαχνών Ευβοίας-ΤΕΙ Χαλκίδος	73
4.1 Περιγραφή της Γραμμής.....	74
4.1.1 Ανάλυση των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ της γραμμής	74
4.1.2 Καλώδια γραμμής	75
4.2 Παρατηρήσεις για την Περιοχή.....	76
Συμπεράσματα-Μελλοντικές Βελτιώσεις	77
Βιβλιογραφία-Πηγές	79

Πίνακας Συντομογραφιών

ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΜ/Σ	Αυτομετασχηματιστής
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΓΜ	Γραμμές Μεταφοράς
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΚΥΤ	Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης
ΜΣ	Μετασχηματιστής
ΜΤ	Μέση Τάση
ΣΜ	Σύστημα Μεταφοράς
Υ/Σ	Υποσταθμός
ΧΤ	Χαμηλή Τάση
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας	Περιγραφή	Σελίδα
1	Υφιστάμενοι Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής Συνδεδεμένοι στο Σύστημα	28
2	Υφιστάμενοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής Συνδεδεμένοι στο Σύστημα	30
3	Ισχύς εναλλακτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας(Δεκέμβριος 2009)	31
4	Συνολικά Μήκη Εναερίων ΓΜ του ΣΜ	34

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα	Περιγραφή	Σελίδα
Εξωφύλλου	Υ/Σ Δήμου Παύλου Μελά Θεσσαλονίκης, Ιούλιος 2014	Εξώφυλλο
1	Μετασχηματιστής ισχύος του William Stanley	24
2	Θερμοηλεκτρικός σταθμός Μεγαλόπολης	29
3	Υδροηλεκτρικός σταθμός Πλατανόβρυσης	30
4	Αιολικό πάρκο στην Παναγία Σουμελά Δ.Βέροιας ισχύος 14MW	31
5	Σχηματική παράσταση πυλώνων απλού, διπλού, τετραπλού και εξαπλού κυκλώματος	32
6	Διασυνδέσεις της Ελλάδος με το εξωτερικό	39
7	Τομή αγωγού αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα	43
8	Σύγχρονος αγωγός αλουμινίου	43
9	Πύργος ανάρτησης και τάνυσης	45
10	Στύλοι 150 kV	45
11	Στύλοι 400 kV	46
12	Μονωτήρες σε εναέρια γραμμή	47
13	Μονωτήρες σε ΓΜ	47
14	Διάφοροι μονωτήρες στύλων	48
15	Εναέριος Υ/Σ διανομής στη Θεσσαλονίκη	58
16	Ένας ιδανικός μετασχηματιστής υποβιβασμού	60
17	Μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού στον Υ/Σ Οινοφύτων	61
18	Μετασχηματιστής ξηρού τύπου	62

19	Διακόπτης ισχύος αέρος, τάσης 275kV	64
20	Διακόπτης ισχύος λαδιού στον Υ/Σ Οινοφύτων	65
21	Διακόπτες ισχύος πτωχού ελαίου στον Υ/Σ Οινοφύτων	66
22	Διακόπτης ισχύος κενού	67
23	Διακόπτης ισχύος SF ₆ στον Υ/Σ Οινοφύτων	68
24	Δίστυλοι αποζεύκτες με περιστρεφόμενες επαφές στον Υ/Σ Οινοφύτων	69
25	Σχήματα βασικών δομών ζυγών	70
26	Σχέδιο γραμμής Ψαχνών Ευβοίας-ΤΕΙ Χαλκίδος	73
27	Υ/Σ διανομής 400KVA	75
28	Τομή καλωδίου ACSR	75

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται περιγραφή των συνιστωσών του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και χαρτογράφηση μιας συγκεκριμένης γραμμής μεταφοράς αυτής από τον υποσταθμό Ψαχνών Ευβοίας προς το ΤΕΙ Χαλκίδος.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας ιστορικής αναδρομής αλλά και αναλύοντας το υφιστάμενο σύστημα της Ελλάδος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι γραμμές μεταφοράς. Αναλυτικότερα, περιγράφονται τα βασικά στοιχεία και χαρακτηριστικά αυτών αλλά και η μοντελοποίησή τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τους υποσταθμούς. Τι είναι ένας υποσταθμός, από τι αποτελείται και τα βασικά του γνωρίσματα. Επίσης περιγράφονται αναλυτικά τα στοιχεία ενός υποσταθμού και ποιος ο ρόλος τους στο σύστημα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της γραμμής από τον υποσταθμό Ψαχνών Ευβοίας προς το ΤΕΙ Χαλκίδος.

Τέλος ακολουθούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν με βάση τη μελέτη που έχει προηγηθεί αλλά και οι πιθανές μελλοντικές βελτιώσεις του συστήματος μεταφοράς της χώρας.

This thesis offers an overview of the building blocks of the Greek power grid and presents the mapping of a specific MV line, the one from the substation of Psahna, Evia, Greece to the TEI of Chalkida.

More specifically, in the first chapter there is an introduction to the evolution of power systems over time and an analysis of the current Greek power system.

In the second chapter there is a description of transmission lines, their basic components and characteristics as well as their modeling.

The third chapter is dedicated to substations, their role and basic components.

In the fourth chapter there is a detailed description and analysis of a MV line that starts from the HV/MV transmission/ distribution substation at Psahna, Evia, Greece and ends at the TEI of Chalkida.

Η πρώτη καταγραφή στην ιστορία της ανθρωπότητας κάποιας παρατήρησης του ηλεκτρισμού γράφτηκε περίπου το 2750 π.Χ. . Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι είχαν παρατηρήσει τους «κεραυνούς του Νείλου», [2] δηλαδή ηλεκτροφόρα ψάρια. Παρόλα αυτά πέρασαν πολλές εκατοντάδες χρόνια μέχρι την επόμενη καταγραφή. Αυτή εντοπίστηκε στην αρχαία Ελλάδα γύρω στα 600 π.Χ. κι ανήκε στο Θαλή το Μιλήσιο ο οποίος παρατήρησε τον στατικό ηλεκτρισμό. Πολλούς αιώνες μετά, ο William Gilbert έκανε μια προσεκτική μελέτη για τον ηλεκτρισμό και το μαγνητισμό. Ήταν αυτός μάλιστα που επινόησε τη λατινική λέξη «electrius» από την ελληνική λέξη «ήλεκτρον», που ήταν η αρχαία λέξη για το κεχριμπάρι. Ακολούθησαν πολλοί επιστήμονες που ασχολήθηκαν σοβαρά κι επίμονα με τα φαινόμενα του ηλεκτρισμού και έστησαν τα θεμέλια για την μετέπειτα αξιοποίησή του. Σήμερα θεωρείται ένα από τα βασικά και αναγκαία αγαθά του σύγχρονου ανθρώπου.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας θα γίνει περιγραφή των βασικών εννοιών και συνισταμένων του συστήματος μεταφοράς ενέργειας της Ελλάδος καθώς και ανάλυση της γραμμής Υ/Σ Ψαχνών Ευβοίας-ΤΕΙ Χαλκίδος.

Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1 Ιστορική Αναδρομή κι Απαρχές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας[3][4][5]

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, ο σημερινός άνθρωπος θεωρεί αδιανόητο να υπάρξει ομαλή ροή της καθημερινότητάς του χωρίς την ύπαρξη του ηλεκτρισμού. Κι όμως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί επίτευγμα των τελευταίων αιώνων της ιστορίας του ανθρώπου. Πιο συγκεκριμένα η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος λειτούργησε το 1881 στο Goldalming της Αγγλίας, κάπου μεταξύ Πόρτσμουθ και Λονδίνου και παρήγε ρεύμα ισχύος 746 kW. Η συγκεκριμένη πόλη ήταν η πρώτη που απέκτησε δημόσιο ηλεκτρικό φωτισμό, αρχικά με τρεις λάμπες βολταϊκού τόξου και επτά λάμπες πυρακτώσεως και αργότερα με τέσσερις και είκοσι επτά λάμπες αντίστοιχα. Η γεννήτρια ήταν μονοφασική της εταιρείας Siemens και παρείχε 250V/12A με 1200 στροφές ανά λεπτό. Τη γεννήτρια κινούσαν δύο υδρόμυλοι κι η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτιόταν απολύτως από τις βροχοπτώσεις διότι δεν ήταν δυνατόν να ελεγχθεί επαρκώς η ροή νερού στο ποτάμι που διέτρεχε την πόλη. Στη Στουτγάρδη της Γερμανίας εγκαθίσταται η επόμενη μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού το 1882 με ισχύ αρκετή ώστε να ανάψουν 30 λάμπες πυρακτώσεως! Εκτιμάται ότι η ισχύς που παρήγε ανερχόταν στο 1,5kW. Το Βερολίνο αποτελεί την πόλη όπου θα δημιουργηθεί το πρώτο δίκτυο ακτίνας 800 μέτρων από τη μονάδα παραγωγής το 1885.

Κατά το ίδιο έτος ο William Stanley κατασκεύασε ένα επαγωγικό πηνίο ή όπως έχει επικρατήσει σήμερα, έναν μετασχηματιστή ισχύος, με το οποίο μετέβαλε με τον τρόπο που ήθελε την εναλλασσόμενη τάση. Αυτό το γεγονός συνέβαλε στην οριστική επικράτηση του εναλλασσόμενου ρεύματος έναντι του συνεχούς. Το ίδιο διάστημα ο Galileo Ferraris ανακάλυψε πως δύο εναλλασσόμενα ρεύματα ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής αρχικής

Κεφάλαιο 1-Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

φάσης δημιουργούσαν ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Την ίδια εποχή πραγματοποιούσαν όμοια πειράματα, αλλά με τρία εναλλασσόμενα ρεύματα, ο Edison και ο Nicola Tesla.



Εικόνα 1: Μετασχηματιστής ισχύος του William Stanley[2]

Το 1886 κατασκευάστηκε στη Γερμανία μια τριφασική γραμμή που τροφοδοτείτο από τρεις μονοφασικούς κινητήρες και τον επόμενο χρόνο ο Friedrich August Haselwander κατασκεύασε την πρώτη τριφασική γεννήτρια. Το 1889 κατασκευάζεται από τον Michael Dolivo Dobrowolsky ο πρώτος επαγωγικός τριφασικός κινητήρας. Μέχρι σήμερα δεν έχει αλλάξει ουσιαστικά η βασική κατασκευαστική αρχή αυτών των κινητήρων.

Στα χρόνια που ακολούθησαν το γερμανικό τριφασικό σύστημα διανομής ρεύματος εξελίχθηκε πολύ. Το 1891 η Φρανκφούρτη τροφοδοτήθηκε με βαθμό απόδοσης 70%.

Η εμφάνιση του ηλεκτρισμού άλλαξε τις συνθήκες παραγωγής. Η νέα αυτή μορφή ενέργειας αντικατέστησε τον ατμό, το φωταέριο και το πετρέλαιο που μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν. Επίσης προσέφερε ασφάλεια, οικονομία, ποιότητα στην παραγωγή και μικρότερη μόλυνση του περιβάλλοντος. Η βιομηχανία, όπως και οι πόλεις, πήραν νέα μορφή με την εμφάνιση του ηλεκτρισμού και με την ευρύτερη διανομή του. Η δεκαετία 1880-1890 υπήρξε μια δεκαετία ραγδαίας ανάπτυξης και εξέλιξης της νέας τεχνολογίας.

Εφευρέτες και κατασκευαστές στράφηκαν προς την επίλυση προβλημάτων που μέχρι πρότινος συναντούσαν αλλά και να εξέλιξη διάφορων μεθόδων.

Στην Ελλάδα ο ηλεκτρισμός έφτασε το 1889. Η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε από τη «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών». Το πρώτο κτίριο που ηλεκτροδοτείται είναι τα Ανάκτορα και στη συνέχεια ο φωτισμός επεκτείνεται στο σημερινό ιστορικό κέντρο της πόλης. Τον ίδιο χρόνο ηλεκτροδοτείται επίσης και η Θεσσαλονίκη, η οποία είναι ακόμη υπό την Οθωμανική κατοχή. Η «Βέλγικη Εταιρεία» αναλαμβάνει το φωτισμό ολόκληρης της πόλης καθώς και την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικά χρόνια αργότερα κάνουν την εμφάνισή τους στη χώρα πολυεθνικές εταιρείες ηλεκτρισμού. Η αμερικανική εταιρεία «Thomson-Houston» με τη συμμετοχή της «Εθνικής Τράπεζας» ιδρύουν την «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία» που ανέλαβε την παροχή ηλεκτρισμού μεγάλων ελληνικών πόλεων. Έως και το 1929 είχαν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των 5.000 κατοίκων. Βέβαια οι πιο απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές αποτελούσαν οικονομικά ασύμφορη επένδυση για τις υπάρχουσες εταιρείες. Έτσι την παροχή ηλεκτρισμού τους αναλάμβαναν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια παραγωγής ρεύματος. Μέχρι το 1949 υπήρχαν στην Ελλάδα περίπου 400 εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούσαν ως καύσιμα εισαγόμενο πετρέλαιο και γαιάνθρακες από το εξωτερικό.

Για περίπου 60 χρόνια, δηλαδή από το 1889 έως το 1950 η ηλεκτρική ενέργεια αποτελούσε αγαθό πολυτελείας κι όχι κοινωνικό αγαθό όπως θα έπρεπε. Η κατάρτιση της παραγωγής της σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα ανέβαζαν την τιμή του ρεύματος στα ύψη εν συγκρίσει με των άλλων ευρωπαϊκών χωρών. Μάλιστα η παροχή του γινόταν διακοπτόμενα, δηλαδή για συγκεκριμένες ώρες και οι αιφνίδιες διακοπές του ήταν δυστυχώς κάτι το συνηθισμένο. Έτσι η οικιακή κατανάλωση ήταν εξαιρετικά περιορισμένη.

Τον Ιούλιο του 1950 η ελληνική κυβέρνηση υπογράφει σύμβαση μαζί με την αμερικανική εταιρεία «Ebasco» με την οποία η τελευταία αναλάμβανε την

ανάπτυξη και λειτουργία εθνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Και πράγματι, τον επόμενο μήνα ιδρύθηκε η «ΔΕΗ», Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, με την Ebasco να έχει αναλάβει την οργάνωση και τη λειτουργία της. Πρωταρχικός στόχος της ΔΕΗ ήταν η παραγωγή άφθονης ενέργειας σε χαμηλή τιμή. Το πρώτο ενεργειακό πρόγραμμα εκπονήθηκε κατά τα έτη 1951 με 1955 με κεφάλαια προερχόμενα από το δημόσιο προϋπολογισμό, το Σχέδιο Μάρσαλ και τις ιταλικές πολεμικές αποζημιώσεις. Στα έργα του προγράμματος αυτού ανήκουν ο ατμοηλεκτρικός σταθμός Αλιβερίου, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί Άγρα, Λάδωνα και Λούρου, όπως και η κατασκευή γραμμών μεταφοράς για τη διασύνδεση όλων των παραπάνω σταθμών.

Το 1955, οπότε και έληξε η σύμβαση με την Ebasco και η ΔΕΗ είχε πλέον ελληνική διοίκηση, εκπονήθηκε το δεύτερο ενεργειακό πρόγραμμα. Με αυτό άρχισαν να λειτουργούν ο ατμοηλεκτρικός σταθμός της Πτολεμαΐδας και ο υδροηλεκτρικός σταθμός Ταυρωπού. Ακόμη κατασκευάστηκαν χιλιάδες χιλιόμετρα γραμμών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και πλήθος υποσταθμών μετασχηματισμού του ρεύματος. Επιπροσθέτως μεγάλο επίτευγμα των πρώτων χρόνων λειτουργίας της ΔΕΗ αποτελούσε η εξαγορά -ουσιαστικά κρατικοποίηση- όλων των υφιστάμενων επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και τη θέσπιση ενιαίου χαμηλού τιμολογίου για ολόκληρη τη χώρα. Ως το 1970 η ΔΕΗ είχε δημιουργήσει ένα εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης όλης της Ελλάδος και να προσφέρει ισότιμα σε όλους πρόσβαση στο ηλεκτρικό ρεύμα.

1.2 Σημερινή Εικόνα της Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα[6]

Σήμερα η ΔΕΗ είναι ο κύριος παραγωγός και προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας. Το συνολικό δίκτυο διανομής ενέργειας ανέρχεται σε 217.000χλμ. ενώ το δίκτυο μεταφοράς έχει μήκος 11.650χλμ. Στην κατοχή της έχει περίπου το 75% της εγκατεστημένης ισχύος θερμοηλεκτρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην ηπειρωτική Ελλάδα. Τα εργοστάσια παραγωγής

είναι τα ατμοηλεκτρικά εργοστάσια (Πτολεμαΐδα, Μεγαλόπολη, Μελίτη Φλώρινας κ.α.) όπου το ρεύμα παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακες, πετρέλαιο), τα υδροηλεκτρικά φράγματα (Άγρας, Κρεμαστών κ.α.) όπου η ενέργεια προέρχεται από την πτώση ή τη ροή των υδάτων, καθώς και τα εργοστάσια που χρησιμοποιούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας για να παράγουν ρεύμα όπως τα αιολικά πάρκα που χρησιμοποιούν τον άνεμο και βρίσκονται κυρίως στα νησιά του Αιγαίου πελάγους.

Στις μέρες μας, το 50% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από καύση λιγνίτη. Ο λιγνίτης άρχισε να αξιοποιείται από Μικρασιάτες πρόσφυγες που εγκαταστάθηκαν στην Πτολεμαΐδα και είχαν μεταφέρει τη σχετική τεχνογνωσία από την πατρίδα τους. Ο πρώτος που ζήτησε και πήρε δικαίωμα δημιουργίας ορυχείων και συστηματικής εκμετάλλευσης του υλικού αυτού στην περιοχή ήταν ο Γεώργιος Παυλίδης, πρόσφυγας από τη Φώκαια της Σμύρνης. Τα μεγαλύτερα ορυχεία λιγνίτη της χώρας σήμερα, τα οποία ανήκουν στη ΔΕΗ, βρίσκονται στις περιοχές της Πτολεμαΐδας Κοζάνης, του Αμυνταίου Φλώρινας και της Μεγαλόπολης Αρκαδίας.

Ένα ποσοστό της τάξης του 17% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ανήκει στο φυσικό αέριο, 10% στο πετρέλαιο, 10% στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, 6% στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τέλος, το 7% στις διασυνδέσεις με χώρες του εξωτερικού.

Οι κυριότεροι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1: Υφιστάμενοι Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής Συνδεδεμένοι στο Σύστημα[6]

ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΕΓΚΑΤΕ- ΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ(MW)	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ(MW)
Λιγνιτικές μονάδες				
ΔΕΗ	Άγ. Δημήτριος	Άγ. Δημήτριος Ι, ΙΙ	2x300	2x274
		Άγ. Δημήτριος ΙΙΙ, ΙV	2x310	2x283
		Άγ. Δημήτριος V	375	342
ΔΕΗ	Αμύνταιο	Αμύνταιο Ι, ΙΙ	2x300	2x273
ΔΕΗ	Καρδιά	Καρδιά Ι-ΙΙ	2x300	2x275
		Καρδιά ΙΙΙ-V	2x306	2x280
ΔΕΗ	Λιπτόλ (Πτολεμαΐδα)	Λιπτόλ Ι	10	8
		Λιπτόλ ΙΙ	33	30
ΔΕΗ	Μεγαλόπολη Ι	Μεγαλόπολη Ι, ΙΙ	2x125	2x113
		Μεγαλόπολη ΙΙΙ	300	255
ΔΕΗ	Μεγαλόπολη ΙΙ	Μεγαλόπολη ΙV	300	256
ΔΕΗ	Μελίτη	Μελίτη	330	289
ΔΕΗ	Πτολεμαΐδα	Πτολεμαΐδα Ι	70	64
		Πτολεμαΐδα ΙΙ, ΙΙΙ	2x125	2x116
		Πτολεμαΐδα ΙV	300	274
Σύνολο ισχύος λιγνιτικών μονάδων			5250	4746
Πετρελαϊκές μονάδες				
ΔΕΗ	Αλιβέρι	Αλιβέρι ΙΙΙ, ΙV	2x150	2x144
ΔΕΗ	Λαύριο	Λαύριο Ι	130	123
		Λαύριο ΙΙ	300	287
Σύνολο ισχύος πετρελαϊκών μονάδων			730	698
Μονάδες συνδυασμένου κύκλου (ΜΣΚ)				
ΔΕΗ	Κομοτηνή	Κομοτηνή	484,6	476,3
ΔΕΗ	Λαύριο	Λαύριο ΙΙΙ(μικρή ΜΣΚ)	176,5	173,4
		Λαύριο ΙV(μεγάλη ΜΣΚ)	560	550,2
		Λαύριο V(νέα ΜΣΚ)	385,3	377,7
Ενεργειακή Θεσ.	ΘΗΣ ΕΝΘΕΣ	ΕΝΘΕΣ	390	389,4
Σύνολο ισχύος μονάδων συνδυασμένου κύκλου			1996,4	1967
Μονάδες φυσικού αερίου ανοικτού κύκλου				
ΔΕΗ	Άγ. Γεώργιος	Άγ. Γεώργιος VΙΙΙ	160	151
		Άγ. Γεώργιος ΙΧ	200	188

ΗΡΩΝ Θερμο- ηλεκτρική	ΘΗΣ ΗΡΩΝ	Αεριοστροβιλικές μονάδες ανοικτού κύκλου	147,8	147,8
Σύνολο ισχύος μονάδων φυσικού αερίου			507,8	486,8
Μονάδες συμπαραγωγής σε σταθμούς συνολικής ισχύος τουλάχιστον 50 MW				
ΕΛΠΕ	ΕΛΠΕ/Εγκαταστάσεις Ασπρόπυργου		50	50
ΜΟΤΟΡ ΟΪΛ	ΜΟΤΟΡ ΟΪΛ/Αγ. Θεόδωροι		66,1	66,1
Σύνολο ισχύος λοιπών Θερμοηλεκτρικών Σταθμών			116,1	116,1
ΣΥΝΟΛΟ ΙΣΧΥΟΣ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ			8600,3	8013,9



Εικόνα 2: Θερμοηλεκτρικός σταθμός Μεγαλόπολης[8]

Πίνακας 2:Υφιστάμενοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής Συνδεδεμένοι στο Σύστημα[6]

ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΕΓΚΑΤΕ- ΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ(MW)	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ(MW)
ΔΕΗ	Άγρας	Άγρας Ι, ΙΙ	2x25	2x25
ΔΕΗ	Ασώματα	Ασώματα Ι, ΙΙ	2x54	2x54
ΔΕΗ	Εδεσσαίος	Εδεσσαίος	19	19
ΔΕΗ	Θησαυρός	Θησαυρός Ι-ΙΙΙ	3x128	3x128
ΔΕΗ	Καστράκι	Καστράκι Ι-ΙV	4x80	4x80
ΔΕΗ	Κρεμαστά	Κρεμαστά Ι-ΙV	4x109,3	4x109,3
ΔΕΗ	Λάδωνας	Λάδωνας Ι, ΙΙ	2x35	2x35
ΔΕΗ	Πηγές Αώου	Πηγές Αώου Ι, ΙΙ	2x105	2x105
ΔΕΗ	Πλαστήρας	Πλαστήρας Ι-ΙΙΙ	3x43,3	3x43,3
ΔΕΗ	Πλατανόβρυση	Πλατανόβρυση Ι, ΙΙ	2x58	2x58
ΔΕΗ	Πολύφυτο	Πολύφυτο Ι-ΙΙΙ	3x125	3x125
ΔΕΗ	Πουρνάρι Ι	Πουρνάρι Ι, Ι-ΙΙΙ	3x100	3x100
ΔΕΗ	Πουρνάρι ΙΙ	Πουρνάρι ΙΙ, Ι-ΙΙ	2x16	2x16
		Πουρνάρι ΙΙ, ΙΙΙ	1,6	1,6
ΔΕΗ	Στράτος	Στράτος Ι, ΙΙ	2x75	2x75
ΔΕΗ	Σφηκιά	Σφηκιά Ι-ΙΙΙ	3x105	3x105
ΣΥΝΟΛΟ ΙΣΧΥΟΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ			3017,7	3017,7



Εικόνα 3:Υδροηλεκτρικός σταθμός Πλατανόβρυσης[9]

Πίνακας 3: Ισχύς εναλλακτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας(Δεκέμβριος 2009)[6]

ΕΙΔΟΣ	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	
	Ισχύς(MW)	Κατανομή ανά είδος(%)
Αιολικά Πάρκα	917	70,98
Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί	183	14,16
Σταθμοί Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας	105	8,13
Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί	46	3,56
Μονάδες Καύσης Βιομάζας	41	3,17
ΣΥΝΟΛΟ	1292	100

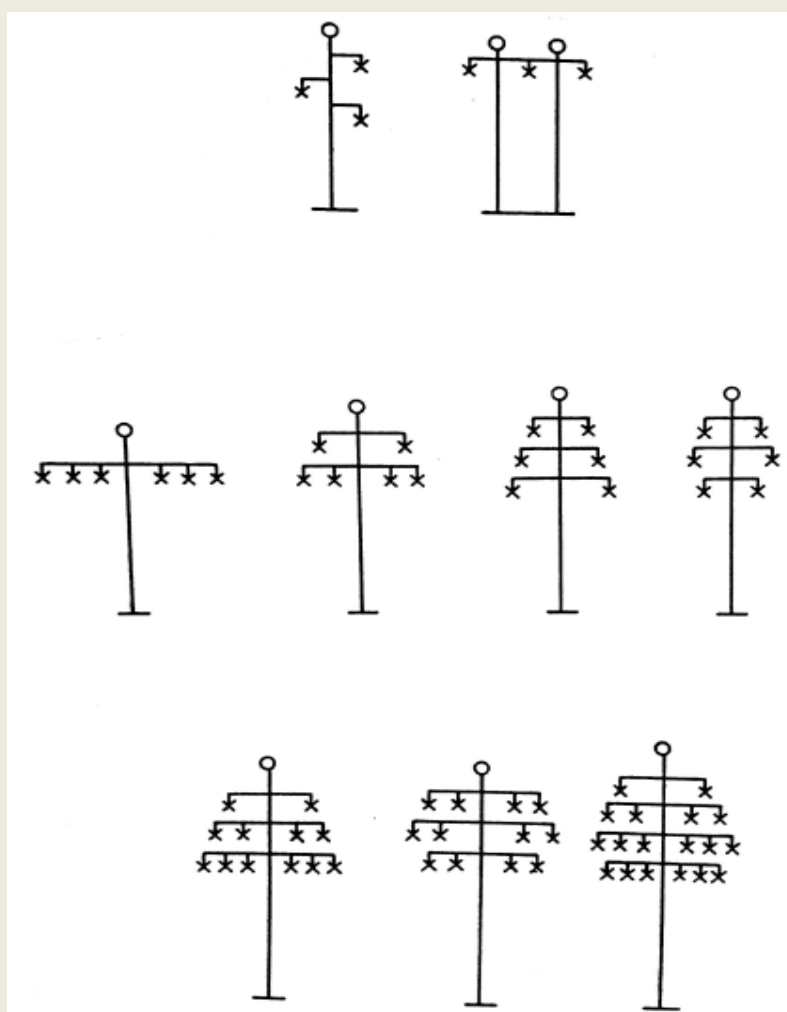


Εικόνα 4: Αιολικό πάρκο στην Παναγία Σουμελά Δ.Βέροιας ισχύος 14MW[1]

1.3 Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το ΣΜ της χώρας αποτελείται από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της Ελλάδος και των διασυνδεδεμένων με αυτό νησιών.

Η μεταφορά ισχύος πραγματοποιείται μέσω ενός κεντρικού άξονα 400kV αποτελούμενου από τρεις γραμμές μεταφοράς 400kV διπλού κυκλώματος, στις οποίες δύο ανεξάρτητα τριφασικά κυκλώματα φέρονται σε κοινούς πυλώνες. Η Εικόνα 1 που ακολουθεί δείχνει σχηματικά πυλώνες απλού, διπλού, τετραπλού και εξαπλού κυκλώματος.



Εικόνα 5:Σχηματική παράσταση πυλώνων απλού, διπλού, τετραπλού και εξαπλού κυκλώματος[9]

Το σύστημα μεταφοράς της χώρας μας, όπως ήταν τον Ιανουάριο του 2013, φαίνεται στο συννημένο γεωγραφικό χάρτη [10]. Αυτό αποτελείται από τους Υ/Σ, τα κέντρα υπερυψηλής τάσης, τις γραμμές μεταφοράς, τις συσκευές αντιστάθμισης ισχύος καθώς και τις διεθνείς διασυνδέσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των παραπάνω στοιχείων.

1.3.1 Υποσταθμοί 150kV/MT[6]

Σύμφωνα με το χάρτη, στο σύστημα μεταφοράς είναι συνδεδεμένοι:

- 202 Υ/Σ υποβιβασμού τάσης 150kV/MT της ΔΕΗ, εκ των οποίων:
 1. 197 εξυπηρετούν τις ανάγκες πελατών του δικτύου διανομής
 2. 4 τροφοδοτούν τα φορτία των ορυχείων (Νοτίου Πεδίου Πτολεμαΐδας, Καρδιάς, Αμυνταίου, Χωρεμίου)
 3. 1 χρησιμοποιείται για τις ανάγκες άντλησης του υδροηλεκτρικού σταθμού Πολυφύτου.
- 20 Υ/Σ για την υποδοχή της ισχύος των αιολικών πάρκων, μερικοί εκ των οποίων εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία διανομής.
- Υ/Σ ανυψώσεως τάσης Μ.Τ./150kV στους ακόλουθους σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ:
 1. 7 Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί (Κομοτηνής, Πτολεμαΐδας, Αλιβερίου, Μεγαλόπολης I και II, Αγ. Γεωργίου και Λαυρίου)
 2. 18 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Θησαυρού, Πλατανόβρυσης, Άγρα, Εδεσσαίου, Πολυφύτου, Ασωμάτων, Μακροχωρίου, Σφηκιάς, Ν. Πλαστήρα, Γκιώνας, Πηγών Αώου, Λούρου, Πουρναρίου I και II, Καστρακίου, Κρεμαστών, Στράτου, Λάδωνα).
- 2 Υ/Σ ανυψώσεως τάσης σε σταθμούς παραγωγής ανεξάρτητων παραγωγών (ΗΡΩΝ Θερμοηλεκτρική Α.Ε. και Αλουμίνιο Α.Ε.). Οι μονάδες παραγωγής των εν λόγω σταθμών συνδέονται στα 150 kV μέσω Μ/Σ ανυψώσεως ΜΤ/150kV.
- 35 Υ/Σ υποβιβασμού τάσης 150kV/MT που εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις πελατών υψηλής τάσης.

1.3.2 ΚΥΤ[6]

Στα ΚΥΤ γίνεται η σύνδεση του συστήματος μεταφοράς 400kV με το σύστημα μεταφοράς 150kV. Υπάρχουν 12 ΚΥΤ που περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους ΑΜ/Σ τριών τυλιγμάτων 400kV/150kV/30kV. Επιπροσθέτως, υφίστανται 6 ΚΥΤ τα οποία είναι εγκατεστημένα κοντά στους ομώνυμους σταθμούς παραγωγής και εξυπηρετούν παράλληλα ή αποκλειστικά ανάγκες ανύψωσης τάσης από τις μονάδες παραγωγής προς το σύστημα μεταφοράς 400kV.

1.3.3 Γραμμές Μεταφοράς[6]

Στο σύστημα μεταφοράς της χώρας υπάρχουν ΓΜ υψηλής τάσης (150kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV) διαφόρων τύπων.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα συνολικά μήκη εναέριων ΓΜ του ελληνικού συστήματος μεταφοράς.

Πίνακας 4:Συνολικά Μήκη Εναέριων ΓΜ του ΣΜ[6]

ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ (kV)	ΚΥΚΛΩΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΓΜ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (χλμ)
66	ΑΠΛΟ	Ε/66	40
150	ΑΠΛΟ	Ε/150	2590
150	ΑΠΛΟ	Β/150	2020
150	ΔΙΠΛΟ	2Β(Ε)/150	215
150	ΔΙΠΛΟ	2Β/150	6065
400	ΑΠΛΟ	Β'Β'/400	210
400	ΔΙΠΛΟ	2Β'Β'/400	3415
400	ΑΠΛΟ	Β'Β'Β'/400	285

Οι υπόλοιπες ΓΜ της χώρας πλην των εναερίων είναι οι εξής:

- 232 χλμ υπογείων και υποβρυχίων καλωδίων 150 kV
- 4 χλμ υπογείων καλωδίων 400 kV (ΕΝΘΕΣ – ΚΥΤ Θεσσαλονίκης)
- 13,5 χλμ υποβρυχίων καλωδίων 66 kV (Ηγουμενίτσα – Κέρκυρα)
- 106 χλμ εναέριας γραμμής και 160 χλμ υποβρυχίου καλωδίου 400 kV Σ.Ρ. για τη διασύνδεση με την Ιταλία
- 212 χλμ υπογείων καλωδίων 150 kV για τη μεταφορά ισχύος εντός των πυκνοκατοικημένων περιοχών της Πρωτεύουσας και της Θεσσαλονίκης.

Εκτενέστερη και πιο λεπτομερής περιγραφή των ΓΜ θα γίνει στο δεύτερο κεφάλαιο.

1.3.4 Άεργος Ισχύς και Ευστάθεια του Συστήματος[11]

Η Άεργος ισχύς (Q) αποτελεί μέρος της συνολικής ισχύος σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Εμφανίζεται όταν η διακύμανση της τάσης δεν ακολουθεί, όμοια στο χρόνο, τη διακύμανση της έντασης σε αυτό, όταν δηλαδή εμφανίζεται διαφορά φάσης μεταξύ των δύο. Η άεργος ισχύς εμφανίζεται στην περίπτωση που υπάρχουν επαγωγικά στοιχεία (πηνία) ή χωρητικά στοιχεία (πυκνωτές), ως φορτία, στο κύκλωμα που διατρέχει το εναλλασσόμενο ρεύμα. Ονομάζεται άεργος ισχύς διότι σε αντίθεση με την ενεργό ισχύ δεν μετατρέπεται σε έργο, αλλά αντανακλάται από τη συσκευή και επιστρέφει στο ηλεκτρικό δίκτυο με διαφορετική μορφή. Η άεργος ισχύς είναι ανεπιθύμητη αφού δεν παράγει κανένα έργο και ακόμα χειρότερα επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μια επιπλέον ποσότητα ρεύματος που αναλογεί απλά σε αντίστοιχες θερμικές απώλειες, ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο βαθμός κατανάλωσης άεργου ισχύος από τα φορτία εκφράζεται μέσω του μεγέθους «Συντελεστής Ισχύος, ($\cos\varphi$)». Ο Συντελεστής Ισχύος είναι ουσιαστικά ο λόγος της καταναλισκόμενης ισχύος προς την παρεχόμενη ισχύ.

Το ιδανικό φορτίο θα είχε συντελεστή γύρω στη μονάδα. Ένα «καλό» φορτίο στην πραγματικότητα παρουσιάζει συντελεστή 0,95 με 0,99.

Η άεργος ισχύς είναι αναγκαία αφενός για τη λειτουργία ορισμένων ευρέως διαδεδομένων φορτίων και αφετέρου για τη λειτουργία των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Κάθε φορτίο που περιλαμβάνει εξοπλισμό η λειτουργία του οποίου απαιτεί τη δημιουργία μαγνητικών πεδίων εμφανίζει κατανάλωση άεργου ισχύος, δηλαδή έχει «επαγωγική συμπεριφορά». Οι ασύγχρονοι (επαγωγικοί) κινητήρες και οι εφαρμογές τους στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα (συστήματα μετάδοσης κίνησης, αντλητικά συστήματα, κλιματιστικά μηχανήματα, ψυγεία, πλυντήρια κλπ) είναι το πιο κλασσικό παράδειγμα.

Σε περιόδους υψηλής κατανάλωσης ισχύος η λειτουργία των δικτύων γίνεται οριακή, καθώς δεν είναι πάντα δυνατός ο έλεγχος ροής της άεργου ισχύος. Έτσι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης blackout. Τέτοια περίοδο αποτελούν οι θερινοί μήνες του χρόνου. Μάλιστα τότε παρατηρείται αύξηση της ζήτησης της άεργου ισχύος διότι γίνεται εκτεταμένη χρήση κλιματιστικών μονάδων καθώς και αντλητικών συστημάτων άρδευσης τα οποία περιλαμβάνουν επαγωγικούς κινητήρες. Οι συσκευές αυτές ρίχνουν το συντελεστή ισχύος και κατά συνέπεια αυξάνουν το ρεύμα. Συνέπεια των προηγούμενων είναι να πέφτει η ασφάλεια της ΔΕΗ (blackout).

1.3.4.1 Συμβατικά Κλιματιστικά Μηχανήματα[11]

Το κύριο πρόβλημα των κλιματιστικών μονάδων είναι οι συχνές εκκινήσεις. Οι συχνές εκκινήσεις αποτελούν πρόβλημα τόσο των σύγχρονων, πιστοποιημένων και υψηλού κόστους κτήσης κλιματιστικών, όσο και των παλαιού τύπου κλιματιστικών ή γενικότερα του χαμηλού κόστους κτήσης, τα οποία συνήθως έχουν χαμηλό συντελεστή ισχύος. Το ρεύμα εκκίνησης είναι πολύ μεγαλύτερο του αντίστοιχου ρεύματος λειτουργίας με αποτέλεσμα να προκαλείται τοπική πτώση τάσης στο δίκτυο. Επιπροσθέτως, κατά την εκκίνηση (στις χαμηλές στροφές του κινητήρα) η τιμή του συντελεστή ισχύος είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Ακόμη τα σύγχρονα κλιματιστικά μηχανήματα ρυθμίζουν το ρεύμα εκκίνησης με inverters. Αποτέλεσμα της χρήσης τέτοιων διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος είναι η αλλοίωση της ημιτονοειδούς μορφής

της τάσης και άρα η δημιουργία αρμονικών στο δίκτυο. Οι αρμονικές αυτές προκαλούν αυξημένες απώλειες στο δίκτυο, θέρμανση των στοιχείων του (κινητήρες, μετασχηματιστές, καλώδια) και παρεμβολές στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό.

1.3.4.2 Αρδευτικά Συστήματα Άντλησης[11]

Τα αρδευτικά συστήματα άντλησης έχουν σημαντικά μειωμένο τιμολόγιο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το μειωμένο αυτό τιμολόγιο ισχύει μόνο για τις ώρες εκτός αιχμής του συστήματος. Ο περιορισμός αυτός υπεβλήθη αφενός για λόγους καλής λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος, και ιδίως μετά τη μετατόπιση της αιχμής του φορτίου του συστήματος στο θέρος (μετά το 1992) και αφετέρου για σοβαρούς περιβαλλοντικούς λόγους, οι οποίοι έχουν να κάνουν με την εύλογη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ειδικότερα, υπολογίζεται ότι, στην περίπτωση άρδευσης κατά τη διάρκεια της ημέρας, 40% του ύδατος εξατμίζεται πριν καταπέσει στο έδαφος, ενώ 20% της ποσότητας που πέφτει στο έδαφος εξατμίζεται πριν απορροφηθεί από αυτό (ήτοι συνολικές απώλειες ύδατος άνω του 50%).

Η ανεξέλεγκτη όμως παραβίαση των παραπάνω περιορισμών έχει οδηγήσει, πέρα από τη σημαντική υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα των γεωργικών περιοχών, στην επιβάρυνση της συνολικής κατανάλωσης του ηλεκτρικού συστήματος με περίπου 700MW.

Σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν, κρίνεται απαραίτητη η τήρηση του περιορισμού μη λειτουργίας των αρδευτικών συστημάτων κατά τις ώρες της ημέρας για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του συστήματος αλλά και για τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης προβλημάτων αστάθειας τάσης ή ανεπάρκειας ισχύος.

1.3.5 Συσκευές Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος[12]

1.3.5.1 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με Πυκνωτές

Οι συνέπειες της άεργης ισχύος εξουδετερώνονται, μερικώς, με την παράλληλη τοποθέτηση στα κυκλώματα, πυκνωτών. Με τους πυκνωτές αυτούς μέρος της ενέργειας παγιδεύεται και ανταλλάσσεται ανάμεσα στα πηνία και τους πυκνωτές της εγκατάστασης, ώστε να γίνονται το δυνατόν και πάλι συμφασικές η τάση και η ένταση στο συνολικό κύκλωμα.

1.3.5.2 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με Στρεφόμενους Πυκνωτές

Επιπροσθέτως, για την αντιστάθμιση άεργου ισχύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν στρεφόμενοι πυκνωτές οι οποίοι είναι ουσιαστικά σύγχρονες γεννήτριες. Οι γεννήτριες αυτές τοποθετούνται στο τέλος των ΓΜ μεγάλων αποστάσεων, σε σημαντικούς Υ/Σ μεταφοράς και σε σταθμούς μετατροπής υψηλής εναλλασσόμενης τάσης. Οι στρεφόμενοι πυκνωτές τείνουν τα τελευταία χρόνια να αντικατασταθούν από στατούς αντισταθμιστές ισχύος οι οποίοι έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά μα είναι οικονομικότεροι.

1.3.5.3 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με Στατούς Αντισταθμιστές

Οι στατοί αντισταθμιστές συνδυάζουν τους συμβατικούς πυκνωτές και αυτεπαγωγές με τη διακοπτική ικανότητα. Ως διακόπτες χρησιμοποιούνται thyristors. Με τη χρήση τους επιτυγχάνεται γρήγορος, συνεχής και ακριβής έλεγχος της τάσης αλλά και εξάλειψη υπερτάσεων. Η χρησιμοποίηση στατών αντισταθμιστών απαιτεί και την εγκατάσταση φίλτρων προκειμένου να μειωθούν οι αρμονικές που δημιουργούνται από τις διακοπές του ρεύματος. Ο συγκεκριμένος τρόπος αντιστάθμισης άεργου ισχύος χρησιμοποιείται συνήθως σε εγκαταστάσεις μεγάλων καταναλωτών, στη ΜΤ ή στη ΧΤ.

1.3.5.4 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με Σύγχρονους Στατούς Αντισταθμιστές

Στους σύγχρονους στατούς αντισταθμιστές αντί για thyristors ως διακόπτες, πυκνωτές και αυτεπαγωγές που χρησιμοποιούνται στους προηγούμενους, χρησιμοποιούνται συσκευές ηλεκτρονικών ισχύος που συνθέτουν την άεργο ισχύ στην έξοδό τους.

1.3.6 Διεθνείς διασυνδέσεις[6]

Από το 2004 το ελληνικό σύστημα μεταφοράς ενέργειας λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς του ENTSO-E. Η παράλληλη λειτουργία επιτυγχάνεται μέσω διασυνδετικών ΓΜ 400 και 150kV με τα συστήματα μεταφοράς της Αλβανίας, της Βουλγαρίας, και της ΠΓΔΜ. Ακόμη, το σύστημα μεταφοράς της χώρας μας συνδέεται υποβρύχια με την Ιταλία. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι υπάρχουσες διασυνδέσεις της Ελλάδος με το εξωτερικό αλλά και οι προβλεπόμενες, οι υπό μελέτη και οι υπό κατασκευή διασυνδέσεις.



Εικόνα 6: Διασυνδέσεις της Ελλάδος με το εξωτερικό[6]

Δεύτερο Κεφάλαιο

Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι ΓΜ αποτελούν τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στα εργοστάσια παραγωγής και στους Υ/Σ και το τελικό δίκτυο διανομής. Μέσω αυτών παραλαμβάνεται η ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες παραγωγής και δίδεται στα κέντρα κατανάλωσης. Οπότε οι ΓΜ διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

2.1 Βασικά Στοιχεία Γραμμών Μεταφοράς

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, στο σύστημα μεταφοράς της χώρας υπάρχουν ΓΜ υψηλής τάσης (150kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV). Προτεραιότητα αποτελεί η προστασία του ανθρώπου οπότε πρέπει να αποφεύγεται η προσέγγιση των ΓΜ από αυτόν. Το τελευταίο επιτυγχάνεται μέσω σωστής εγκατάστασης και λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας. Επίσης πρέπει να διασφαλίζεται η ελάχιστη επίδραση των ΓΜ σε άλλες δραστηριότητες του περιβάλλοντος. Για προαναφερθέντες λόγους οι ΓΜ είναι είτε εναέριες είτε υπόγειες. Οι περισσότερες ΓΜ είναι εναέριες καθώς είναι οικονομικότερες από τις υπόγειες αλλά κι εγκατάστασή τους πιο απλή εφόσον υπάρχει δυνατότητα στήριξης των αγωγών. Συγκεκριμένα, μέχρι αποστάσεις στήριξης 500μ., δεν παρουσιάζονται προβλήματα.

Οι ΓΜ κατηγοριοποιούνται εκτός από εναέριες και υπόγειες, σε γραμμές μικρού μήκους, μεσαίου μήκους και μεγάλου μήκους αναλόγως με το συνολικό μήκος τους. Στις γραμμές μικρού μήκους ανήκουν οι γραμμές που το μήκος τους δεν ξεπερνά τα 40 χλμ, στις μεσαίου μήκους οι γραμμές με

μήκος από 40 έως 150 χλμ και όσες έχουν μήκος μεγαλύτερο των 150 χλμ ανήκουν στις γραμμές μεγάλου μήκους.[9]

2.2 Στοιχεία Εναέριων Γραμμών Μεταφοράς

Οι εναέριες ΓΜ αποτελούνται από[9]:

- Αγωγούς φάσεων και αγωγούς προστασίας
- Πυλώνες
- Μονωτήρες
- Στοιχεία σύνδεσης

2.2.1 Αγωγοί

Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα μεταφοράς και διανομής είναι μεταλλικά σύρματα χωρίς εξωτερική μόνωση με κυκλική διατομή. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται είναι αλουμίνιο, χαλκός και αλουμίνιο-χάλυβας.

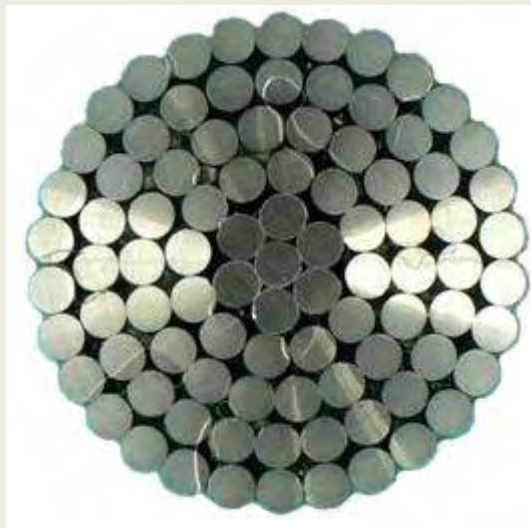
Οι περισσότεροι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στις εναέριες γραμμές είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο διότι είναι ένα οικονομικό, ελαφρύ υλικό και με καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Συναντάμε τους εξής τύπους αγωγών αλουμινίου[13]:

- Αγωγοί εξολοκλήρου αλουμινένιοι
- Αγωγοί εξολοκλήρου από κράμα αλουμινίου
- Αγωγοί αλουμινίου ενισχυμένοι με χάλυβα
- Αγωγοί αλουμινίου ενισχυμένοι με κράμα

Οι αγωγοί αλουμινίου ενισχύονται με κράμα ή χάλυβα διότι το αλουμίνιο έχει μικρό φορτίο θραύσης. Έτσι το κράμα ή ο χάλυβας χρησιμοποιούνται για μηχανική αντοχή ενώ το αλουμίνιο για ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το ρεύμα που διαρρέει το κράμα ή τον χάλυβα είναι αμελητέο. Επίσης προκειμένου να αντέχουν οι αγωγοί αλουμινίου τη μηχανική καταπόνηση είναι πολύκλωνοι.

Κεφάλαιο 2-Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αποτελούνται δηλαδή από πολλούς κλώνους, που τυλίγονται ελικοειδώς σε αλληπάλληλες στρώσεις. Η τελική εικόνα του αγωγού θυμίζει συρματόσχοινο. Οι κλώνοι διαφορετικών στρωμάτων τυλίγονται σε αντίθετες κατευθύνσεις προκειμένου να είναι πιο δύσκολο το ξετύλιγμά τους. Επιπρόσθετα οι πολύκλωνοι αγωγοί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευκαμψία από τους μονόκλωνους.



Εικόνα 7: Τομή αγωγού αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα[13]



Εικόνα 8: Σύγχρονος αγωγός αλουμινίου[14]

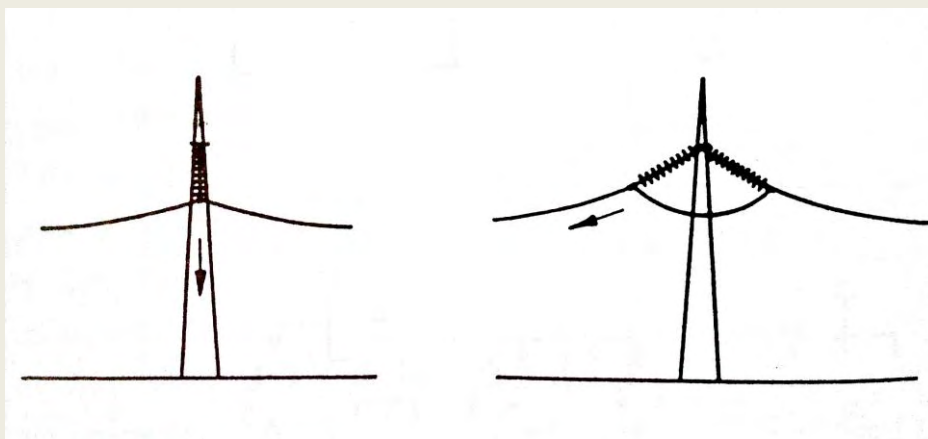
Οι αγωγοί πρέπει να αντέχουν εκτός από τη μηχανική και τη θερμική καταπόνηση και να μην προκαλούν απαράδεκτα υψηλές απώλειες Corona¹.

2.2.2 Πυλώνες/Πύργοι

Οι πυλώνες σχεδιάζονται με βάση τεχνοοικονομικούς υπολογισμούς λαμβάνοντας υπόψη την τάση, την ισχύ, τη διάταξη των αγωγών, το διαθέσιμο χώρο (πλάτος και ύψος), τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, τις μηχανικές καταπονήσεις και την κίνηση των αγωγών υπό διάφορες συνθήκες. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η αυξανόμενη ροπή που ασκείται σε έναν πύργο εάν ένας ή περισσότεροι αγωγοί κοπούν. Βέβαια βασικότατο ρόλο διαδραματίζει κι η προστασία του κοινού από τους ρευματοφόρους αγωγούς.

Η απόσταση των πυλώνων μεταξύ τους κυμαίνεται συνήθως ανάμεσα σε 150 και 500 μέτρα. Σε περιπτώσεις διασταύρωσης ποταμιών, κοιλάδων κλπ, οι αποστάσεις μπορεί να φτάσουν και στα 1200 μέτρα περίπου.[9]

Οι πύργοι κατά μήκος μιας γραμμής μεταφοράς διακρίνονται σε πύργους ανάρτησης και πύργους τάνυσης αναλόγως με τα φορτία που μεταφέρουν.



Εικόνα 9: Πύργος ανάρτησης και τάνυσης[9]

¹ Φαινόμενο Corona: Λόγω της υψηλής τάσης δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο γύρω από τους αγωγούς το οποίο μπορεί να επιταχύνει ορισμένα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στον αέρα. Εάν η τάση υπερβεί μια ορισμένη τιμή ο ιονισμός είναι αυξανόμενος με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικών εκκενώσεων οι οποίες φαίνονται σαν μια αμυδρή λάμψη γύρω από τον αγωγό, χρώματος βιολετί. Αποτελέσματα του φαινομένου αποτελούν οι απώλειες ενέργειας αλλά και οι ραδιοφωνικές παρεμβολές στην περιοχή συχνοτήτων 0.2-4MHz.[15]

Κεφάλαιο 2-Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Λόγοι όπως η μεταφερόμενη ισχύς, η ευστάθεια και η εφεδρεία επιβάλλουν συχνά διπλά ή πολλαπλά κυκλώματα. Αυτά μπορεί να αναρτηθούν σε ξεχωριστούς πύργους ή μαζί. Κάθε πυλώνας φέρει, εκτός από τους αγωγούς των τριών φάσεων και αγωγούς προστασίας. Σκοπός τους είναι εάν πραγματοποιηθεί εκκένωση κεραυνού αυτή να γίνει μέσω αυτών των αγωγών κι όχι μέσω των φάσεων. Επιπρόσθετα υπάρχουν ειδικές κατασκευές για τον τερματισμό των εναέριων γραμμών σε Υ/Σ εξωτερικού χώρου.



Εικόνα 10:Στύλοι 150 kV[16]



Εικόνα 11:Στύλοι 400 kV[16]

2.2.3 Μονωτήρες[9]

Οι μονωτήρες είναι τα εξαρτήματα εκείνα που επάνω τους στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει κάθε μονωτήρας είναι η μηχανική αντοχή, η ηλεκτρική αντοχή και η ικανότητα πλήρους ηλεκτρικής μόνωσης.

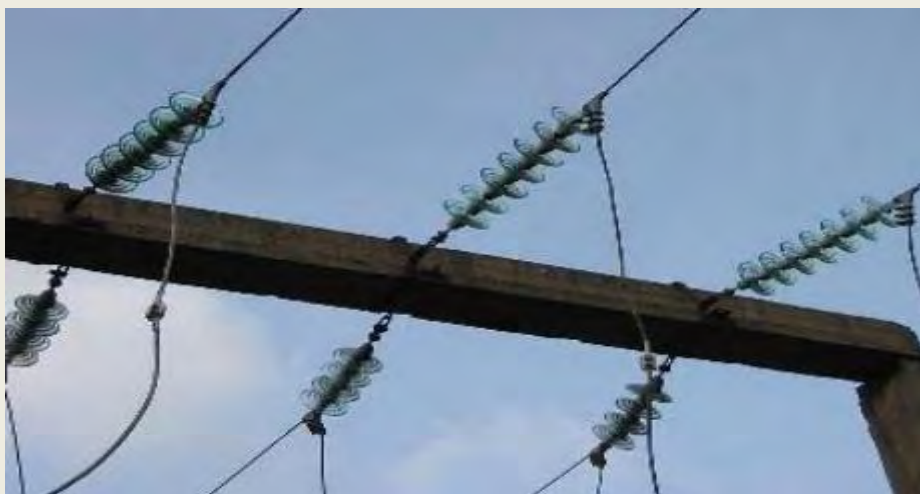
Μεγάλη μηχανική αντοχή απαιτείται ώστε να αντέχουν το βάρος του αγωγού μαζί με διάφορες πιθανές καταπονήσεις όπως είναι το χιόνι ή ο αέρας.

Οι μονωτήρες κρέμονται από τους στύλους των ΓΜ και η μορφή τους μοιάζει με αλυσίδα. Είναι ουσιαστικά πολλοί δίσκοι μονωτήρων συνδεδεμένοι μεταξύ τους με μεταλλικούς συνδετήρες και ο αριθμός τους εξαρτάται από την τάση της ΓΜ. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται σειρά 10 δίσκων για ΓΜ 150 kV. Η κατανομή της τάσης σε κάθε δίσκο ενός αλυσοειδούς μονωτήρα δε γίνεται ομοιόμορφα αλλά ο πλησιέστερος στον αγωγό δέχεται το 23% της συνολικής τάσης. Για χάριν ομοιομορφίας χρησιμοποιούνται δίσκοι που αντέχουν την μέγιστη τάση ανεξάρτητα από τη θέση τους στην αλυσίδα του μονωτήρα.

Ηλεκτρική αντοχή του μονωτήρα είναι η ελάχιστη τάση που απαιτείται ώστε να δημιουργηθεί ηλεκτρικός σπινθήρας μεταξύ των άκρων του όπου στην περίπτωση αυτή προκαλείται υπερπήδηση και τοπικό βραχυκύκλωμα γραμμής. Η ηλεκτρική αντοχή του μονωτήρα μειώνεται σημαντικά από οποιαδήποτε ανωμαλία στην επιφάνειά του όπως είναι η υγρασία, ένα σπάσιμο ή ράγισμα κ.ά.



Εικόνα 12:Μονωτήρες σε εναέρια γραμμή[17]



Εικόνα 13:Μονωτήρες σε ΓΜ[16]

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μονωτήρων είναι η πορσελάνη, το γυαλί, η εποξειδική ρητίνη και το κεραμικό υψηλής συχνότητας. Τα μεγέθη τους σχετίζονται με την τάση της γραμμής και το σχήμα τους είναι τέτοιο ώστε να εμποδίζει την επικάθηση υγρασίας ή σκόνης.



Εικόνα 14:Διάφοροι μονωτήρες στύλων[18]

Η πορσελάνη είναι σύνθετη ύλη από αργίλιο, πυρίτιο και μαγνήσιο. Προκειμένου να επιτευχθεί μείωση της επίδρασης του περιβάλλοντος, αύξηση της επιφανειακής αντίστασης και ομογενές ηλεκτρικό πεδίο στους μονωτήρες, η πορώδης επιφάνειά τους καλύπτεται με διηλεκτρικά υλικά κρυσταλλικής μορφής, ελαττώνοντας έτσι τις απώλειες. Οι μονωτήρες από

πορσελάνη είναι κατάλληλοι για χρήση σε σχετικά υψηλές τάσεις, αλλά σε χαμηλές συχνότητες.

Το γυαλί έχει χαρακτηριστικά μονωτικού υλικού (σχετικά μεγάλη διηλεκτρική σταθερά και ειδική αντίσταση, όπως και μικρό θερμικό συντελεστή). Είναι μίγμα διαφόρων πυριτικών αλάτων. Η οριακή του θερμοκρασία είναι άνω των 200° C.

Η εποξειδική ρητίνη χρησιμοποιείται γιατί είναι φθηνότερη από την πορσελάνη και δεν παρουσιάζει τεχνικά προβλήματα στην κατασκευή μονωτήρων. Το μειονέκτημά της είναι ότι όταν υπόκειται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο και υπό την επήρεια των ατμοσφαιρικών συνθηκών, δημιουργείται μία αποσύνθεση και απελευθέρωση άνθρακα, ιδιαίτερα κοντά στους οπλισμούς του μονωτήρα.

Σαν κεραμικό υψηλής συχνότητας χρησιμοποιείται ο στεατίτης. Ανάλογα με την περίπτωση χρήσης τους διακρίνονται σε:

- μονωτήρες για υψίσυχνες κεραίες
- εξαρτήματα στήριξης
- κεραμικά πυκνωτών
- πορώδη κεραμικά

2.2.4 Στοιχεία Σύνδεσης

Κατά τη μελέτη χάραξης μιας νέας ΓΜ πρέπει να ληφθούν υπόψη το εξής:

1. Η ΓΜ να είναι καλά προσπελάσιμη
2. Να υπάρχουν λίγα σημεία κάμψης
3. Το κόστος κατασκευής να είναι το ελάχιστο δυνατό
4. Να αποφευχθούν εμπόδια όπως αεροδρόμια, διασταυρώσεις με άλλες γραμμές, περιοχές με ισχυρούς ανέμους ή πάγο
5. Παράλληλη όδευση, σε μεγάλες αποστάσεις, γραμμών υψηλής τάσης και τηλεφώνου είναι δυσάρεστη λόγω αλληλεπιδράσεων.

2.3 Μοντελοποίηση Γραμμών Μεταφοράς[9]

Μια ΓΜ χαρακτηρίζεται από ένα μήκος κύματος. Σύμφωνα με αυτό το μήκος κύματος διαμορφώνονται και οι ορθογώνιες φυσικές διαστάσεις της γραμμής. Έτσι ένας χρήσιμος τρόπος ταξινόμησης των ΓΜ αλλά και μοντελοποίησης τους είναι αναλόγως το μήκος κύματος του διαδιδόμενου σήματος.

Η μοντελοποίηση των ΓΜ στοχεύει στην μετατροπή του προβλήματος σε ένα πρόβλημα ενός κυκλώματος RLC με ιδανικά στοιχεία. Μέσω γνώριμων εννοιών γίνεται πιο απλή και άρα πιο γρήγορη η επίλυση του προβλήματος.

Με τον παραπάνω τρόπο μια ΓΜ μοντελοποιείται ως ένα κύκλωμα με μεγάλο αριθμό στοιχείων. Το συνολικό μήκος της γραμμής διασπάται σε άπειρα μικρότερα κομμάτια. Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν τη γραμμή πλέον είναι οι εξής:

1. Αυτεπαγωγή ανά μονάδα μήκους (L)
2. Ωμική Αντίσταση ανά μονάδα μήκους (R)
3. Χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους (C)
4. Αγωγιμότητα ανά μονάδα μήκους (G)

2.4 Χαρακτηριστικά Γραμμών Μεταφοράς[9][13]

Κάθε ΓΜ ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται, όπως ειπώθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, από τέσσερις παραμέτρους, τέσσερα ηλεκτρικά μεγέθη που καθορίζουν τη συμπεριφορά της κατά τη μεταφορά και διανομή ενέργειας. Βέβαια πολύ σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό και στην απόδοση των ΓΜ διαδραματίζουν και τα μηχανικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Ο καθορισμός των κατάλληλων μεγεθών κάθε γραμμής αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας.

2.4.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά

2.4.1.1 Αυτεπαγωγή

Καθώς οι αγωγοί μιας γραμμής διαρρέονται από μεταβαλλόμενο ρεύμα δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο τόσο εντός των αγωγών όσο και στο περιβάλλον αυτών. Καθώς οι αγωγοί βρίσκονται εντός αυτών των μαγνητικών πεδίων εμπλέκονται από μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή και έτσι αναπτύσσονται σε αυτούς τάσεις εξ επαγωγής. Τα μέτρα αυτών των τάσεων διαμορφώνονται από τις επαγωγές των αγωγών αλλά και από τις μεταξύ αυτών αμοιβαίες επαγωγές.

Ο συντελεστής αναλογίας που εκφράζει τη σχέση μεταξύ πεπλεγμένης ροής και ρεύματος είναι η αυτεπαγωγή που συμβολίζεται με L και μετριέται σε Henry(H). Η αυτεπαγωγή αποτελεί το πλέον σημαντικό μέγεθος των ΓΜ.

Επειδή η επαγωγή συσχετίζει πεπλεγμένη ροή με ρεύμα για την εύρεση των επαγωγικών χαρακτηριστικών μιας ΓΜ απαιτείται ο υπολογισμός της μαγνητικής ροής που εμπλέκει κάθε αγωγό της γραμμής.

Θεωρείται σύνολο n παράλληλων και κυκλικών αγωγών με ακτίνες R_i με $i=1,2,...,n$ αντίστοιχα, οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις D_{ij} ($i \neq j$). Οι αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα i_i για τα οποία ισχύει $\sum i_i = 0$. Επίσης θεωρούνται δεδομένα τα εξής:

- Οι μεταξύ των αγωγών αποστάσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τις ακτίνες τους.
- Τα ρεύματα κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλη τη διαδρομή των αγωγών.
- Το σύνολο των n αγωγών δεν επηρεάζεται από εξωτερικά πεδία.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω ισχύει η αρχή της επαλληλίας, δηλαδή η συνολική ροή που εμπλέκει κάθε αγωγό μπορεί να ληφθεί ως άθροισμα των επί μέρους πεπλεγμένων ροών που παράγονται από τους αγωγούς του συστήματος.

Θεωρείται σημείο P μέχρι το οποίο εκτείνεται η πεπλεγμένη ροή κάθε αγωγού. Με βάση την αρχή της επαλληλίας, η ανά μονάδα μήκους ροή λ_i^P που εμπλέκει τον αγωγό i και εκτείνεται ως το σημείο P είναι:

$$\lambda_i^P = \lambda_{ii}^P + \sum_{j \neq i}^n \lambda_{ij}^P \quad (2.1)$$

Όπου λ_{ii}^P η ανά μονάδα μήκους ροή που εμπλέκει τον αγωγό i και οφείλεται στο ίδιο του το ρεύμα και $\lambda_{ij}^P (i \neq j)$ η ανά μονάδα μήκους ροή που εμπλέκει τον αγωγό i και οφείλεται στο ρεύμα του αγωγού j .

Η ροή λ_{ii}^P μπορεί να σπάσει σε δύο συνιστώσες. Μία συνιστώσα $\lambda_{\xi i}^P$, που οφείλεται στη ροή έξω από τον αγωγό, και μία συνιστώσα $\lambda_{\varepsilon i}$, που οφείλεται στη ροή στο εσωτερικό του αγωγού, δηλαδή:

$$\lambda_{ii}^P = \lambda_{\xi i}^P + \lambda_{\varepsilon i} \quad (2.2)$$

Για να υπολογιστούν οι παραπάνω συνιστώσες χρησιμοποιείται ο νόμος του Ampere, σύμφωνα με τον οποίο η εφαπτομενική συνιστώσα $H_{\varepsilon\varphi}$ του διανύσματος της έντασης του μαγνητικού πεδίου όταν ολοκληρωθεί κατά μήκος ενός κλειστού δρόμου Γ ισούται με το ρεύμα i_e σε A , που περικλείεται από αυτόν τον κλειστό δρόμο.

Για τον υπολογισμό του $\lambda_{\varepsilon i}$ εφαρμόζεται ο νόμος του Ampere για τον κλειστό δρόμο που βρίσκεται εντός του αγωγού και σε απόσταση x από το κέντρο του, από τον οποίο προκύπτει ότι η πεπλεγμένη ροή στο εσωτερικό κυλινδρικού αγωγού που διαρρέεται από ρεύμα i είναι:

$$\lambda_{\varepsilon i} = \int_0^{R_i} d\lambda_x = \frac{\mu i_i}{8\pi} \text{ Wb-t/m} \quad (2.3)$$

Όπου μ η μαγνητική διαπερατότητα του αγωγού και $d\lambda_x = \frac{x^2}{R_i^2} d\varphi_x$. Η στοιχειώδης μαγνητική ροή $d\varphi_x$ σε ένα κυλινδρικό κέλυφος ακτινικού πλάτους dx και μήκους 1m σε απόσταση x από το κέντρο του αγωγού θεωρείται ότι είναι ίση με $\frac{\mu x i_i}{2\pi R_i^2} dx$ Wb/m.

Όπως φαίνεται η πεπλεγμένη ροή είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος του αγωγού.

Η αντίστοιχη αυτεπαγωγή είναι:

$$L_{\varepsilon\sigma} = \frac{\mu}{8\pi} \text{ H/m} \quad (2.4)$$

1. Εφαρμογή του ίδιου νόμου για το εξωτερικό του αγωγού όπου προκύπτει ότι αντίστοιχη ροή που οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο

από την επιφάνεια του αγωγού μέχρι απόσταση D για σχετική διαπερατότητα μ_r ίση με μονάδα είναι:

$$\lambda_{\varepsilon\xi} = 2 * 10^{-7} I \ln \frac{D}{r} \text{ Wb-t/m} \quad (2.5)$$

Η αντίστοιχη αυτεπαγωγή είναι:

$$L_{\varepsilon\xi} = 0,2 \ln \frac{D}{r} \text{ mH/km} \quad (2.6)$$

Όπου r η ακτίνα υποθετικού αγωγού χωρίς εσωτερική ροή.

2. Άθροισμα των εσωτερικών και εξωτερικών αυτεπαγωγών ώστε να προκύψει η συνολική αυτεπαγωγή του αγωγού μέχρι απόσταση D από το κέντρο του:

$$L = L_{\varepsilon\sigma} + L_{\varepsilon\xi} = 0,2 \ln \frac{D}{r'} \text{ mH/km} \quad (2.7)$$

Όπου r' ισούται με $re^{-1/4}=0,7788r$.

Σε περίπτωση μονοφασικής γραμμής δύο αγωγών η αυτεπαγωγή της γραμμής είναι:

$$L = L_{\varepsilon\sigma} + L_{\varepsilon\xi} = 0,4 \ln \frac{D}{r'} \text{ mH/km} \quad (2.8)$$

2.4.1.2 Ωμική Αντίσταση

Η αντίσταση (R) ενός αγωγού στο ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαπερνά δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.9)$$

Όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση του αγωγού σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, l το μήκος του αγωγού και S το εμβαδόν της διατομής του αγωγού.

Η αντίσταση των αγωγών μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και συνήθως οι χρησιμοποιούμενες τιμές αναφέρονται σε θερμοκρασία 20°C . Για θερμοκρασίες διαφορετικές των 20°C πρέπει να γίνει διόρθωση. Για την

περιοχή 10°C έως 100°C η μεταβολή της αντίστασης του αγωγού προκύπτει από τη σχέση:

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1}[1 + \alpha_{\theta_1}(\theta_2 - \theta_1)] \quad (2.10)$$

Όπου R_{θ_1} η αντίσταση σε θερμοκρασία θ_1 , R_{θ_2} η αντίσταση σε θερμοκρασία θ_2 και α_{θ_1} ο θερμοκρασιακός συντελεστής της αντίστασης για θερμοκρασία θ_1 .

Ο θερμοκρασιακός συντελεστής εξαρτάται από το υλικό του αγωγού και μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Επίσης παίρνει διάφορες τιμές για κάθε υλικό. Για παράδειγμα για αγωγό από χαλκό με αγωγιμότητα 100% σε θερμοκρασία 20 °C ο συντελεστής α ισούται με 0.00393 ενώ για αγωγό από αλουμίνιο με αγωγιμότητα 62% σε ίδια θερμοκρασία ο α ισούται με 0.00410. σε θερμοκρασία 50 °C ο α ισούται με 0.00352 και 0.00334 αντίστοιχα.

Η παραπάνω σχέση κάνει εμφανές το γεγονός ότι η μεταβολή της αντίστασης των μετάλλων είναι γραμμική συναρτήσεως της θερμοκρασίας γι' αυτό και κρίνεται απαραίτητη η διόρθωση των τιμών της ωμικής αντίστασης για θερμοκρασίες διαφορετικές από κάποια δεδομένη (πχ των 20°C).

Αναλόγως το φορτίο της εκάστοτε γραμμής αλλά και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος η ωμική αντίσταση των αγωγών είναι διαφορετική. Για ελαφρά φορτία και μέτριες καιρικές συνθήκες η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της γραμμής είναι οι 20°C. Για μεγάλα φορτία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η θερμοκρασία θεωρείται από 80°C έως 100°C. Για μέσα φορτία και μέτριες καιρικές συνθήκες μια τυπική θερμοκρασία αποτελούν οι 50°C.

2.4.1.3 Χωρητικότητα

Σε μια ΓΜ υπάρχει φόρτιση των αγωγών με τον ίδιο τρόπο που φορτίζονται οι πλάκες των πυκνωτών. Έτσι εμφανίζεται το μέγεθος της χωρητικότητας

μεταξύ των αγωγών, το οποίο είναι το φορτίο ανά μονάδα διαφοράς δυναμικού:

$$C = \frac{dQ}{dV} \text{ Farad (F)} \quad (2.11)$$

Για μήκος γραμμής μικρότερο των 80χλμ η επίδραση της χωρητικότητας είναι μικρή και συνήθως αμελητέα. Μεγάλα μήκη γραμμών καθώς και μεγάλες τάσεις μεταφοράς απαιτούν ακριβείς υπολογισμούς οπότε η σημασία του υπολογισμού της χωρητικότητας κρίνεται σημαντική.

Για τον υπολογισμό της χωρητικότητας χρησιμοποιείται η εξής σχέση(θεωρώντας ότι η σχετική διηλεκτρική σταθερά -ε- είναι ίση με μονάδα):

$$C = \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{r}} \mu\text{F/km} \quad (2.12)$$

Όπου D η απόσταση από το κέντρο του αγωγού και r η ακτίνα του αγωγού.

2.4.1.4 Αγωγιμότητα

Το τελευταίο ηλεκτρικό μέγεθος των ΓΜ που σχετίζεται με το ρεύμα διαρροής μεταξύ των αγωγών μιας γραμμής είναι η εγκάρσια αγωγιμότητα (G). Το ρεύμα αυτό υφίσταται πάντα διότι κανένα υλικό δεν έχει άψογες μονωτικές ιδιότητες. Όμως με το σωστό σχεδιασμό των ΓΜ το μέγεθός του είναι πολύ μικρό και θεωρείται αμελητέο. Τα διάφορα μοντέλα ΓΜ λαμβάνουν υπόψη τους την εγκάρσια αγωγιμότητα για μεγάλα μήκη γραμμών.

2.4.2 Μηχανικά Χαρακτηριστικά

Κατά το σχεδιασμό των ΓΜ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάποια μηχανικά χαρακτηριστικά προκειμένου αυτές να είναι ασφαλείς για το κοινό. Υπάρχουν μηχανικές δυνάμεις που καταπονούν τις γραμμές και αυτές είναι:

- Το βάρος των αγωγών
- Η δύναμη του ανέμου
- Το βάρος του πάγου

Κεφάλαιο 2-Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Με βάση τα παραπάνω σχεδιάζονται αναλόγως οι αποστάσεις των αγωγών από το έδαφος αλλά και από τα γειτονικά κτίσματα, υπολογίζεται το κατάλληλο τόξο βυθίσματος των αγωγών και επιλέγονται οι κατάλληλοι πυλώνες, αγωγοί και μονωτήρες με βασικό κριτήριο τη μηχανική αντοχή τους.

Τρίτο Κεφάλαιο

Υποσταθμοί

Όπως ειπώθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε υπερυψηλή (400kV) ή σε υψηλή(150kV) τάση. Η διανομή της όμως στους καταναλωτές γίνεται σε ΧΤ (230/400V). Τη δουλειά της ανύψωσης ή υποβίβασης τάσης αναλαμβάνουν οι Υ/Σ.

3.1 Γενικά

Το ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται στις μονάδες παραγωγής σε τάση 15 ή 20 kV. Η τάση όμως αυτή είναι χαμηλή ώστε η ενέργεια να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις διότι μικρότερη τάση συνεπάγεται μεγαλύτερο εμβαδόν διατομής καλωδίου οπότε και το κόστος είναι μεγαλύτερο. Επίσης οι απώλειες είναι μεγαλύτερες. Οπότε η τάση ανυψώνεται μέσω υποσταθμών στα 150 ή 400 kV και η ενέργεια μεταφέρεται με αυτήν την τάση κοντά στα κέντρα κατανάλωσης. Με τάση 150kV τροφοδοτούνται απευθείας μόνο μεγάλοι καταναλωτές, όπως εργοστάσια τα οποία έχουν κινητήρες και χρειάζονται μεγάλο ρεύμα εκκίνησης. Στη συνέχεια, προκειμένου η ενέργεια να τροφοδοτήσει μικρούς καταναλωτές (σπίτια, καταστήματα, βιοτεχνίες), η τάση υποβιβάζεται πάλι μέσω των υποσταθμών σε ΧΤ, δηλαδή στα 230/400V. Εκτός όλων των παραπάνω πρέπει να γίνει και διασύνδεση των σταθμών του συστήματος ώστε από κάπου να ξεκινούν οι γραμμές μεταφοράς και διανομής. Όλες οι προαναφερθείσες απαιτήσεις καλύπτονται από τον σχεδιασμό των υποσταθμών.

Ο ορισμός του Υ/Σ συνοψίζεται ως εξής: η ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία γίνεται μετασχηματισμός της τάσης, η κατανομή ή η διανομή ενέργειας.

3.2 Τύποι Υποσταθμών[9]

Οι Υ/Σ δικτύου διακρίνονται σε Υ/Σ διανομής και Υ/Σ μεταφοράς ανάλογα με την τάση που τροφοδοτούνται.

3.2.1 Υποσταθμοί Διανομής

Οι Υ/Σ διανομής υποβιβάζουν την τάση από ΜΤ, δηλαδή 15 ή 20kV, σε τάση κατανάλωσης, δηλαδή 230/400V. Οι συγκεκριμένοι Υ/Σ διακρίνονται σε εναέριους, επίγειους και υπόγειους αναλόγως με τον τρόπο και χώρο κατασκευής τους.



Εικόνα 15:Εναέριος Υ/Σ διανομής στη Θεσσαλονίκη[1]

3.2.2 Υποσταθμοί Μεταφοράς

Υπάρχουν τρεις τύποι Υ/Σ μεταφοράς αναλόγως το σκοπό που εξυπηρετούν στο σύστημα. Έτσι διακρίνουμε τους Υ/Σ ανυψώσεως, τους Υ/Σ υποβιβασμού και τους Υ/Σ ζεύξεως ή διασυνδέσεως.

3.2.2.1 Υποσταθμοί Ανύψωσης Τάσης

Οι Υ/Σ αυτοί βρίσκονται κοντά στις μονάδες παραγωγής. Ο ρόλος τους είναι να ανυψώνουν την παραγόμενη τάση σε τάση μεταφοράς.

3.2.2.2 Υποσταθμοί Υποβιβασμού Τάσης

Οι Υ/Σ υποβιβασμού έχουν σαν στόχο τον υποβιβασμό της τάσης μεταφοράς των 150 ή 400 kV στη ΜΤ διανομής 15 ή 20 kV.

3.2.2.3 Υποσταθμοί Ζεύξεως ή Διασυνδέσεως

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι Υ/Σ που αποτελούν κόμβους του δικτύου. Από αυτούς αναχωρούν αλλά και σε αυτούς καταλήγουν οι ΓΜ. Οι συγκεκριμένοι Υ/Σ χρησιμοποιούνται για την αποκοπή του κυκλώματος μεταφοράς ή διανομής σε περίπτωση επισκευής βλάβης ή συντήρησης. Σε αυτούς γίνεται μόνο ζεύξη ηλεκτρικών κυκλωμάτων υψηλής τάσης χωρίς απαραίτητα να γίνεται μετασχηματισμός της τάσης. Τα κύρια μηχανήματα που περιλαμβάνουν είναι αποζεύκτες και ζυγοί.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τις περισσότερες φορές οι Υ/Σ είναι μικτοί, δηλαδή ανυψώσεως και ζεύξεως ταυτόχρονα ή υποβιβασμού και ζεύξεως κλπ.

Οι Υ/Σ μεταφοράς μπορούν να διακριθούν και αναλόγως τον τρόπο και χώρο κατασκευής τους. Πιο συγκεκριμένα υφίστανται υπαίθριοι Υ/Σ, εγκιβωτισμένοι και υπόγειοι.

3.3 Δομή Υποσταθμών[9]

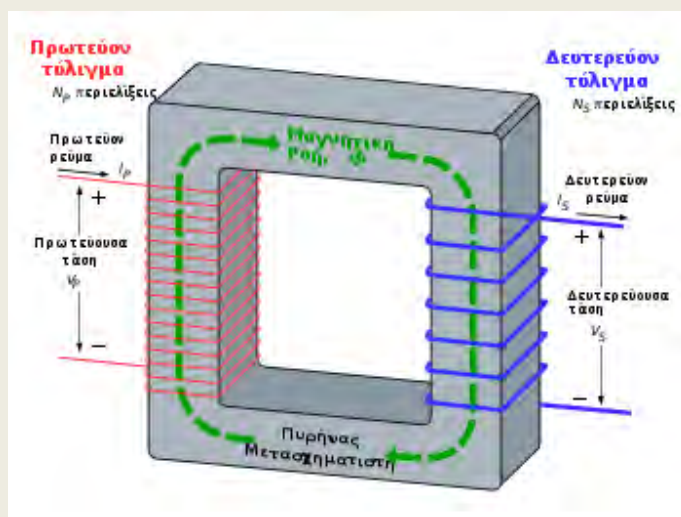
Οι απαραίτητες εγκαταστάσεις ενός Υ/Σ είναι κατά πλειοψηφία υπαίθριες. Υπάρχουν βέβαια και συσκευές που είναι ευπαθείς στις καιρικές συνθήκες. Οι συγκεκριμένες βρίσκονται συγκεντρωμένες εντός κτιριακής υποδομής. Επιπρόσθετα, τόσο οι ΓΜ που φθάνουν και αναχωρούν από τον Υ/Σ όσο και οι περισσότερες γραμμές διανομής που αναχωρούν από αυτόν είναι εναέριες.

Ακολουθούν τα βασικά στοιχεία των υποσταθμών.

3.3.1 Μετασχηματιστές

Οι ΜΣ αποτελούν το σημαντικότερο στοιχείο των υποσταθμών. Ο ΜΣ βασίζεται σε δύο αρχές: η μία είναι ότι το ηλεκτρικό ρεύμα έχει τη δυνατότητα να παράγει ηλεκτρικό πεδίο και, η άλλη, ότι ένα μεταβαλλόμενο πεδίο σε ένα τυλιγμένο σύρμα επάγει διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος. Ο ΜΣ αποτελείται από δύο πηνία για κάθε φάση τα οποία είναι μεταξύ τους ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συζευγμένα. Το τύλιγμα που τροφοδοτείται ονομάζεται πρωτεύον, ενώ αυτό το οποίο δίνει την ηλεκτρική ενέργεια με μετασχηματισμένη τάση ονομάζεται δευτερεύον. Θεωρώντας ότι η τάση στο πρωτεύον είναι V_1 , η ένταση του ρεύματος I_1 και ο αριθμός σπειρών N_1 και τα αντίστοιχα μεγέθη του δευτερεύοντος είναι V_2 , I_2 , N_2 τότε ισχύει:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = k (k=\text{λόγος μετασχηματισμού}) \quad (3.1)$$



Εικόνα 16:Ένας ιδανικός μετασχηματιστής υποβιβασμού[2]

Η κύρια λειτουργία ενός ΜΣ είναι η μετατροπή της τάσης ενός συστήματος από μία ονομαστική τιμή σε μία άλλη. Ο ΜΣ μπορεί να κάνει ανύψωση ή υποβίβαση τάσης.

Οι μετασχηματιστές μπορεί να είναι κατασκευασμένοι με μόνωση λαδιού ή ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης.

3.3.1.1 Μετασχηματιστές με Μόνωση Λαδιού

Ο πυρήνας και τα τυλίγματα του ΜΣ που περικλείουν τον πυρήνα τοποθετούνται μέσα στο δοχείο του ΜΣ που γεμίζεται με λάδι. Το λάδι είναι ειδικό λάδι μετασχηματιστών. Συνήθως είναι ορυκτέλαιο ή συνθετικό. Το λάδι αυτό είναι μονωτικό αλλά χρησιμεύει και ως ψυκτικό μέσο του ΜΣ.



Εικόνα 17:Μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού στον Υ/Σ Οινοφύτων[1]

3.3.1.2 Μετασχηματιστές Ξηρού Τύπου με Μόνωση Χυτορητίνης[19]

Οι συγκεκριμένοι μετασχηματιστές ονομάζονται ξηρού τύπου διότι δε χρησιμοποιούν λάδι για μόνωση. Αποτελούν λιγότερο οικονομική επιλογή από τους μετασχηματιστές λαδιού αλλά έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι αυτών που τους καθιστούν πολλές φορές προτιμότερους. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι τα εξής:

- Η στερεή μόνωσή τους είναι άκαυστη, σε αντίθεση με το λάδι που είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών προφυλάξεων οι οποίες απαιτούνται στους μετασχηματιστές λαδιού.
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε σημείο του κτιρίου σε αντίθεση με τους μετασχηματιστές λαδιού που πρέπει να εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτιρίου ή σε ανεξάρτητα κτίρια.



Εικόνα 18:Μετασχηματιστής ξηρού τύπου[19]

Οι ΜΣ διακρίνονται σε ΜΣ ισχύος, αυτομετασχηματιστές, ΜΣ τάσης και ΜΣ έντασης.

3.3.2 Διακόπτες Ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος μπορούν να διακόψουν τα κυκλώματα υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, όπως για παράδειγμα σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, και να συνδέσουν τα κυκλώματα υπό φορτίο. Το ρόλο των διακοπτών ισχύος μπορούν να αναλάβουν ασφάλειες ισχύος υψηλής τάσης.

Οι διακόπτες ισχύος πρέπει να είναι σε θέση να σβήσουν το τόξο που δημιουργείται μεταξύ των επαφών τους, όταν ανοίγουν ένα κύκλωμα. Σε περίπτωση αδυναμίας λειτουργίας του διακόπτη, το τόξο δε σβήνεται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έκρηξή του λόγω των τεράστιων θερμοκρασιών και των κρουστικών ρευμάτων πίεσης που αναπτύσσονται. Οι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται απόσβεση του ηλεκτρικού τόξου στους διακόπτες ισχύος είναι οι εξής:

- Διακόπτες αέρος
- Διακόπτες λαδιού
- Διακόπτες πτωχού ελαίου
- Διακόπτες κενού αέρος
- Διακόπτες εξαφθοριούχου θείου(SF₆)

Οι διακόπτες ισχύος αποτελούνται, κυρίως, από τις επαφές, μια σταθερή και μια κινούμενη, τους ακροδέκτες, το θάλαμο σβέσης, το περίβλημα και το μηχανισμό κίνησης. Για διακόπτες εξωτερικού χώρου χρησιμοποιούνται περιβλήματα από πορσελάνη ενώ για εσωτερικού χώρου από εποξειδικές ρητίνες με συμπληρωματικά υλικά όπως η σκόνη χαλαζία.

3.3.2.1 Διακόπτες Αέρος

Οι συγκεκριμένοι διακόπτες χρησιμοποιούνται κυρίως στην υψηλή τάση δηλαδή από 110kV και πάνω. Ο αέρας διατηρείται μέσα στη δεξαμενή σε σταθερή πίεση με έναν αεροσυμπιεστή. Ο συμπιεσμένος αέρας βοηθά στη σβέση του τόξου. Το μέσο σβέσεως είναι ουσιαστικά το άζωτο του αέρα, που αποτελεί και την εσωτερική μόνωση του διακόπτη. Πλεονεκτήματα των διακοπών αυτών είναι ότι δε χρειάζονται συντήρηση, προκαλούν μικρή μόλυνση του θαλάμου σβέσεως και ότι το άνοιγμα των επαφών γίνεται σχετικά γρήγορα. Μειονεκτήματα του τύπου αυτού είναι η θορυβώδης λειτουργία του και η σταθερή του ικανότητα σβέσεως, ανεξάρτητα από το διακοπόμενο ρεύμα, πράγμα που οδηγεί στο βίαιο μηδενισμό των ασθενών ρευμάτων όπως είναι τα μικρά επαγωγικά ρεύματα. Αυτό έχει σαν συνέπεια την ανάπτυξη σοβαρών υπερτάσεων κατά τη διακοπή.



Εικόνα 19: Διακόπτης ισχύος αέρος, τάσης 275kV[20]

3.3.2.2 Διακόπτες Λαδιού

Αποτελούν τον παλιότερο τύπο διακοπών ισχύος. Το λάδι χρησιμοποιείται διότι είναι ταυτόχρονα μονωτικό και ψυκτικό μέσο. Επίσης δύσκολα αναφλέγεται μεγάλος όγκος του. Βέβαια στους διακόπτες αυτούς κύριο ψυκτικό μέσο είναι το υδρογόνο που υφίσταται όταν το τόξο ατμοποιεί το λάδι. Όταν οι επαφές ανοίγουν δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο, όπως ειπώθηκε. Στο χώρο του τόξου το λάδι υπερθερμαίνεται, δημιουργούνται φυσαλίδες και αυξάνει ο όγκος του απότομα. Αυτό προκαλεί τη γρήγορη κυκλοφορία του λαδιού στις πλάκες του διακόπτη με αποτέλεσμα να απομακρύνει την παραγόμενη από το τόξο θερμότητα και το τόξο να σβήνει γρήγορα. Διακόπτες λαδιού συνήθως χρησιμοποιούνται σε δίκτυα έως 66kV. Σε μεγαλύτερες τάσεις απαιτείται μεγαλύτερος όγκος λαδιού οπότε το κόστος αυξάνεται σημαντικά.



Εικόνα 20: Διακόπτης ισχύος λαδιού στον Υ/Σ Οινοφύτων[1]

3.3.2.3 Διακόπτες Πτωχού Ελαίου

Οι συγκεκριμένοι διακόπτες χρησιμοποιούν περιορισμένο λάδι σε σχέση με τους διακόπτες λαδιού. Το λάδι όμως στους διακόπτες αυτού του τύπου δεν αποτελεί μόνωση. Χρησιμοποιείται μόνο για τη σβέση του τόξου. Η μόνωση επιτυγχάνεται μέσω άλλων υλικών όπως η πορσελάνη ή η εποξειδική ρητίνη. Χρησιμοποιούνται συνήθως στην περιοχή 20-220 kV. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται και σε μεγαλύτερες τάσεις αλλά με περισσότερους από έναν θαλάμους σβέσεως.



Εικόνα 21: Διακόπτες ισχύος πτωχού ελαίου στον Υ/Σ Οινοφύτων[1]

3.3.2.4 Διακόπτες Κενού Αέρος

Στους διακόπτες αυτούς το μέσον διακοπής αποτελεί το κενό. Με την ταχύτητά του και τη μεγάλη του ικανότητα διακοπής βρίσκει εφαρμογή σε συνεχώς υψηλότερες τάσεις καθώς παρακάμπτεται το εμπόδιο του μεγάλου του κόστους. Ο χώρος στον οποίο γίνεται η διακοπή σε έναν διακόπτη κενού είναι αυτός που βρίσκεται μεταξύ των επαφών, κατά μήκος των ίδιων των επαφών και ο χώρος μεταξύ των επαφών και του εσωτερικού μανδύα.



Εικόνα 22: Διακόπτης ισχύος κενού[21]

3.3.2.5 Διακόπτες Εξαφθοριούχου Θείου(SF_6)

Το εξαφθοριούχο θείο SF_6 είναι αέριο αδρανές ώστε δεν προσβάλλει τα μεταλλικά, πλαστικά και συνθετικά εξαρτήματα από τα οποία κατασκευάζεται ένας διακόπτης υψηλής τάσεως. Το μόριο του SF_6 δεν περιέχει άνθρακα που συνήθως μολύνει το χώρο της σβέσεως. Επιπροσθέτως το SF_6 έχει πολύ καλές διηλεκτρικές ιδιότητες και για τις μικρές μόνο τάσεις είναι και το μονωτικό του διακόπτη. Σε σχέση με το διακόπτη πεπιεσμένου αέρα λειτουργεί σε χαμηλότερες πιέσεις και έχει μικρότερες διαστάσεις. Επειδή το SF_6 είναι δαπανηρό δεν αφήνεται ελεύθερο στην ατμόσφαιρα αλλά διατηρείται σε κλειστό κύκλωμα, πράγμα που κάνει τη λειτουργία του αθόρυβη. Χρησιμοποιείται στις μέσες και υψηλές τάσεις.



Εικόνα 23: Διακόπτης ισχύος SF₆ στον Υ/Σ Οινοφύτων[1]

3.3.3 Αποζεύκτες-Γειωτές

Οι αποζεύκτες χρησιμοποιούνται προς απομόνωση μιας γραμμής εφόσον έχει διακοπεί το κύκλωμα από διακόπτη ισχύος. Οι αποζεύκτες δεν είναι σε θέση να διακόψουν ή να κλείσουν ένα κύκλωμα υπό τάση. Αποζεύκτες τοποθετούνται σε κάθε πλευρά του διακόπτη ισχύος που τροφοδοτείται με τάση. Δεν υπάρχουν διατάξεις σβέσης τόξου όπως στους διακόπτες ισχύος. Έτσι δε μπορούν να αποζεύξουν κυκλώματα πάνω από ρεύματα 40A.

Μέσω των αποζευκτών επιτυγχάνεται η σίγουρη απομόνωση ενός κυκλώματος που έχει ήδη ανοίξει καθώς διαπιστώνεται οπτικά εάν αυτοί είναι κλειστοί ή ανοικτοί.



Εικόνα 24:Δίστυλοι αποζεύκτες με περιστρεφόμενες επαφές στον Υ/Σ Οινοφύτων[1]

Οι γειωτές είναι πρακτικά αποζεύκτες με τη διαφορά ότι η μία τους πλευρά συνδέεται πάντα στη γείωση. Χρησιμοποιούνται για να:

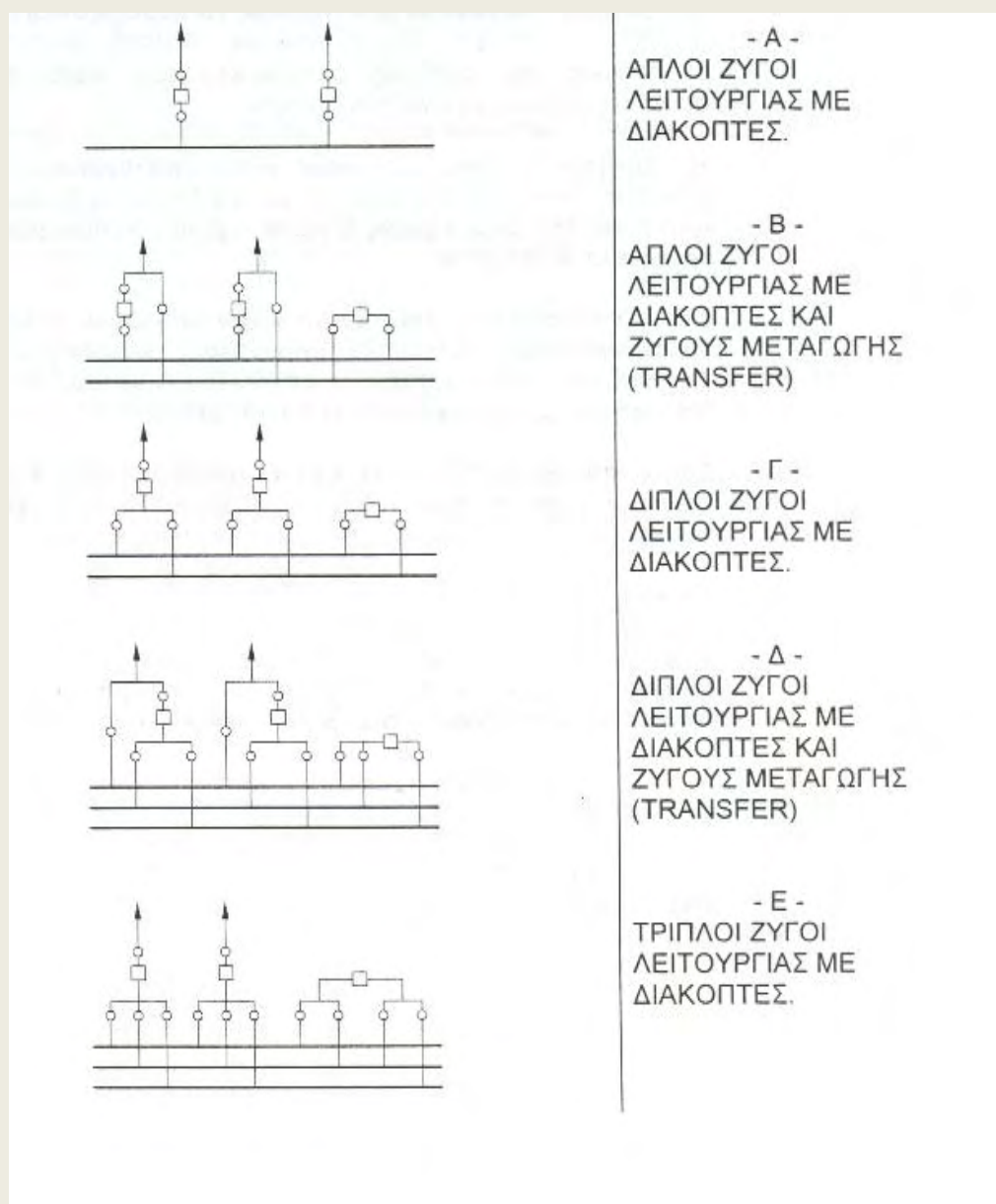
- Μηδενίσουν τα ηλεκτρικά φορτία που παραμένουν στα κυκλώματα και οφείλονται στους παρασιτικούς πυκνωτές που υπάρχουν κυρίως στα καλώδια
- Γειώσουν το τμήμα του δικτύου στο οποίο θα γίνει συντήρηση ή επιδιόρθωση

3.3.4 Ζυγοί

Τα κύρια μέρη ενός εισερχόμενου ή εξερχόμενου κυκλώματος που περιγράφηκαν παραπάνω, δηλαδή οι γραμμές, οι διακόπτες, οι μετασχηματιστές, οι αποζεύκτες-γειωτές πρέπει να ενωθούν με κάποιον τρόπο. Ο πιο απλός τρόπος ένωσής τους είναι σε ένα καλώδιο ή έναν ζυγό. Οι ζυγοί είναι τριάδες αγωγών, ένας αγωγός για κάθε φάση, πάνω στις

οποίες καταλήγουν οι γραμμές ή τα κυκλώματα. Οι βασικές δομές ζυγών που χρησιμοποιούνται στους Υ/Σ είναι οι εξής:

- Απλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Απλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες και ζυγούς μεταγωγής (TRANSFER)
- Κύριοι και μεταγωγικοί ζυγοί
- Διπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Διπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες και ζυγούς μεταγωγής
- Διπλοί ζυγοί με διπλούς διακόπτες
- Τριπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Ζυγοί σε σχήμα «δακτυλίου».



Εικόνα 25:Σχήματα βασικών δομών ζυγών[6]

Κατά την επιλογή των ζυγών και των καλωδίων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάποιες σημαντικές παράμετροι όπως:

- Η μηχανική αντοχή²
- Η ικανότητα θερμικής φόρτισης στη στάσιμη κατάσταση (ονομαστική ένταση)
- Η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμική φόρτιση (υπερφόρτωση / βραχυκύκλωμα)
- Η τάση και η συχνότητα του δικτύου
- Το υλικό των αγωγών και της μόνωσης

3.3.4.1 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Ζυγών[22]

- **Διαστάσεις Ζυγών**

Οι διάμετροι χάλκινων σωλήνων που χρησιμοποιούνται για ζυγούς είναι Ø 20/16 MM, Ø 30/24 MM, Ø 60/52 MM, Ø 80/70 MM. Το μήκος τους είναι περίπου 6m. Στην πλευρά 150 KV χρησιμοποιούνται μπάρες Ø 30/24 MM, που επαρκούν από ηλεκτρική άποψη, όταν η απόσταση μεταξύ δύο στηριγμάτων είναι μικρότερη ή ίση των 6 m. Αν η απόσταση είναι μεγαλύτερη και μέχρι 8.5 m χρησιμοποιούνται μπάρες Ø 60/52 MM μόνο για λόγους μηχανικής αντοχής. Στην πλευρά 20 KV χρησιμοποιούνται μπάρες Ø 30/24 MM ανεξάρτητα από το μέγεθος του μετασχηματιστή ισχύος. Για όλους τους υπόλοιπους ζυγούς χρησιμοποιούνται μπάρες Ø 30/24 MM για μετασχηματιστές 10/12.5 MVA, Ø 60/52 MM για μετασχηματιστές 20/25 MVA, Ø 80/70 MM για μετασχηματιστές 40/50 MVA. Η διάμετρος Ø 20/16 MM χρησιμοποιείται στα κατεβάσματα προς τους μετασχηματιστές τάσεως και τον μετασχηματιστή εσωτερικής υπηρεσίας.

² Η μηχανική αντοχή αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο κατά την επιλογή ζυγών διότι παράλληλοι αγωγοί αναπτύσσουν μεταξύ τους δυνάμεις Coulomb. Ο νόμος του Coulomb λέει ότι το μέτρο της δύναμης που ασκείται μεταξύ δύο σημειακών ποσοτήτων μαγνητισμού είναι ανάλογο προς το γινόμενο αυτών και αντιστρόφως ανάλογο προς το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης. Ως συνέπεια του φαινομένου αυτού μπορεί να επέλθει το σπάσιμο των αγωγών.

• Χάλκινοι Αγωγοί

Υπάρχουν διατάξεις υποσταθμών 150/20 kV που έχουν ζυγούς 150 kV από χάλκινο αγωγό. Η διατομή που χρησιμοποιείται γι' αυτούς τους ζυγούς, καθώς και για τα κατεβάσματα από τη γραμμή των 150 kV είναι 240 MM².

• Σφιγκτήρες

Τα είδη των σφιγκτήρων που χρησιμοποιούνται για τους χάλκινους αγωγούς είναι τα εξής δύο: σταθεροί και ελαστικοί ή ολισθαίνοντες.

Η χρήση τους πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπουν τη διαστολή των μπαρών, δηλαδή μεταξύ δύο σταθερών σφιγκτήρων πρέπει να τοποθετηθεί ελαστικός σφιγκτήρας και στα ελεύθερα άκρα των μπαρών ολισθαίνοντες σφιγκτήρες.

3.3.5 Κυψέλη

Η κυψέλη αποτελεί το σύστημα των συσκευών που έχει ως στόχο την σύνδεση των ζυγών με ένα κύκλωμα αναχώρησης. Στις κυψέλες βρίσκονται τα στοιχεία χειρισμού του Υ/Σ όπως οι διακόπτες ισχύος. Οι ίδιες βρίσκονται σε χώρο διαφορετικό από αυτόν των μετασχηματιστών για λόγους προστασίας

Τέταρτο Κεφάλαιο

Ανάλυση Γραμμής Υ/Σ Ψαχνών Ευβοίας-ΤΕΙ Χαλκίδος



Εικόνα 26: Σχέδιο γραμμής Ψαχνών Ευβοίας-ΤΕΙ Χαλκίδος[23]

Ο Υ/Σ Ψαχνών Ευβοίας αποτελεί Υ/Σ μεταφοράς καθώς και Υ/Σ διανομής. Πιο συγκεκριμένα στον συγκεκριμένο Υ/Σ εισέρχονται 150kV τα οποία εν συνεχεία μεταφέρονται σε άλλες περιοχές. Παράλληλα όμως γίνεται και υποβίβαση των εισερχομένων 150kV στα 20kV τα οποία διανέμονται τόσο σε καταναλωτές ΜΤ όσο και σε Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ της ευρύτερης περιοχής. Η μεν μεταφορά τάσης ανήκει στη δικαιοδοσία του ΑΔΜΗΕ η δε διανομή αυτής στον ΔΕΔΔΗΕ.

4.1 Περιγραφή της γραμμής

Η γραμμή R-380 από τον Υ/Σ Ψαχνών Ευβοίας έως και τον καταναλωτή ΜΤ ΤΕΙ Χαλκίδος είναι συνολικού μήκους 3117.5μ. Από το λειτουργικό σχέδιο που φαίνεται παραπάνω προκύπτουν τα εξής στοιχεία:

- Η γραμμή περιλαμβάνει συνολικά 7 Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ
- Η συνολική ισχύς των παραπάνω υποσταθμών ανέρχεται στα 1520KVA

Αναλυτικότερα, εφόσον η υψηλή τάση εισόδου στον Υ/Σ Ψαχνών υποβιβαστεί σε ΜΤ, (μέσω των στοιχείων που περιγράφηκαν σε πρότερο κεφάλαιο) αυτή εξέρχεται και ακολουθεί μια βρογχοειδή δομή καταλήγοντας πάλι στον Υ/Σ. Η δομή αυτή αποσκοπεί στο να υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης του καταναλωτή ΜΤ-ΤΕΙ Χαλκίδος- και από την αντίθετη πλευρά σε περίπτωση κάποιας βλάβης της γραμμής. Το ΤΕΙ Χαλκίδος αποτελεί καταναλωτή ΜΤ 2MVA.

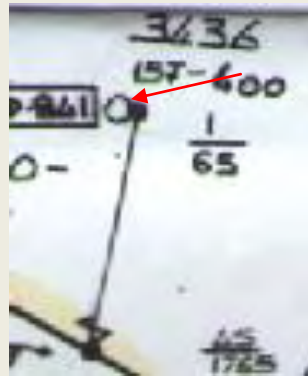
4.1.1 Ανάλυση των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ της γραμμής

Στην πορεία της γραμμής συναντώνται 7 Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ. Ο πρώτος είναι ισχύος 150KVA και ο δεύτερος 160KVA. Στη συνέχεια η γραμμή υπογειοποιείται για 604μ.. Η υπογειοποίηση γίνεται είτε για λόγους διευκόλυνσης, δηλαδή να μην εμπλέκονται πολλοί αγωγοί εναερίως και προκαλείται σύγχυση, είτε για λόγους ομαλής λειτουργίας πχ προς αποφυγή της εναπόθεσης χιονιού ή δυνατού αέρα.

Ακολουθεί ο τρίτος Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ ο οποίος έχει ισχύ ίση με 250KVA. Στη

συνέχεια είναι ο τέταρτος Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ ισχύος 400KVA. Έπειτα υπάρχει ο πέμπτος με ισχύ 160KVA. Τέλος υφίστανται ο έκτος και ο έβδομος Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ με ισχύ 150KVA και 250KVA αντίστοιχα.

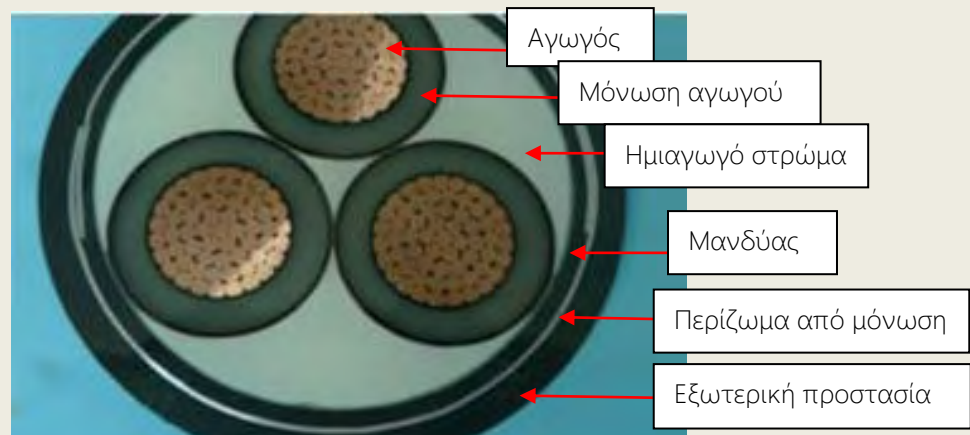
Οι Υ/Σ συμβολίζονται με έναν κύκλο χωρίς γέμισμα όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 27: Υ/Σ διανομής 400KVA[23]

4.1.2 Καλώδια γραμμής

Από το παραπάνω σχέδιο φαίνονται τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη διανομή τάσης στη συγκεκριμένη περιοχή. Για τη διανομή της ΜΤ χρησιμοποιείται καλώδιο αλουμινίου ενισχυμένο με χάλυβα (ACSR) διατομής $3 \times 95 \text{ mm}^2$. Μετά τις διακλαδώσεις τα καλώδια που καταλήγουν στους επιμέρους Υ/Σ διανομής είναι πάλι ACSR αλλά μικρότερης διατομής, δηλαδή $3 \times 35 \text{ mm}^2$.



Εικόνα 28: Τομή καλωδίου ACSR[24]

Κατά την υπογειοποίηση της γραμμής χρησιμοποιείται αγωγός αλουμινίου τύπου ΝΑΗΕΚΒΑ διατομής $3 \times 240 \text{ mm}^2$.

4.2 Παρατηρήσεις για την Περιοχή

Παρατηρείται πως υπάρχει μια αύξηση της ισχύος στα μισά περίπου της διαδρομής (Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ 400KVA). Αυτό συμβαίνει διότι, από ό,τι φαίνεται και από το παραπάνω σχέδιο της γραμμής, υπάρχει πιο πυκνή δόμηση στην περιοχή αυτή. Οπότε συνεπάγεται και μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας. Στις περιοχές όπου δεν υπάρχει μεγάλη δόμηση παρατηρούνται Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ της τάξης 150-160KVA. σε όσες υπάρχει μέση ζήτηση υπάρχουν Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ της τάξης των 250KVA.

Επίσης είναι γνωστό ότι ένα τυπικό νοικοκυριό έχει μονοφασική παροχή της τάξης των 8 ή 12 KVA, ή τριφασική των 25 KVA. Για επαγγελματικούς χώρους η τυπική παροχή είναι τριφασική των 35 KVA.

Με βάση όλα τα παραπάνω μπορούν να προκύψουν μερικά συμπεράσματα σχετικά με το μέγεθος αλλά και τον τύπο δόμησης των διαφόρων περιοχών πλησίον των Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ. Για παράδειγμα ένας Υ/Σ διανομής της τάξης των 160KVA έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτήσει 20 νοικοκυριά μονοφασικής παροχής 8KVA ή περίπου 12 νοικοκυριά μονοφασικής παροχής 12KVA. Εάν τα νοικοκυριά είχαν τριφασική παροχή 25KVA τότε μπορεί να τροφοδοτήσει περίπου 6. Εάν ο συγκεκριμένος Υ/Σ τροφοδοτούσε επαγγελματικούς χώρους θα είχε τη δυνατότητα να υποστηρίξει περίπου 4 χώρους τριφασικής παροχής 35KVA.

Συμπεράσματα-Μελλοντικές Βελτιώσεις

Σύμφωνα με όσα περιγράφηκαν στα πρότερα κεφάλαια, γίνεται αντιληπτό ότι κύριο χαρακτηριστικό του Διασυνδεδεμένου Συστήματος της Ελλάδος είναι η ανισορροπία που παρουσιάζει το βόρειο με το νότιο τμήμα της χώρας. Αυτό συμβαίνει διότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας παράγεται στο βόρειο τμήμα της Ελλάδος (Πτολεμαΐδα) ενώ η μεγαλύτερη ζήτηση αυτής προέρχεται από το νότιο τμήμα της χώρας (Αττική). Ακόμη, οι διεθνείς διασυνδέσεις με ΠΓΔΜ και Βουλγαρία βρίσκονται στο βορρά.

Η γεωγραφική αυτή ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και φορτίων έχει οδηγήσει σε προβλήματα τάσεων στο παρελθόν οπότε κρίνεται αναγκαία η ένταξη νέων μονάδων παραγωγής στο νότιο τμήμα της χώρας χάριν εξισορρόπησης καθώς και η ανάπτυξη των υπάρχουσών ΓΜ 400kV μέσω των οποίων γίνεται η μεταφορά ενέργειας από το βορρά προς το νότο.

Επίσης, στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφηκε η βρογχοειδής δομή της γραμμής Υ/Σ Ψαχνών-ΤΕΙ Χαλκίδος. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται στις περισσότερες γραμμές λόγω των προτερημάτων που παρουσιάζει σε σχέση με άλλες δομές όπως τα ακτινικά δίκτυα όπου οι γραμμές απλώνονται σαν ακτίνες ενός κύκλου από τους Υ/Σ προς τους καταναλωτές ΜΤ. Έτσι η αντικατάσταση των εναπομεινάντων ακτινικών δικτύων με βρογχοειδείς δίκτυα θα αποτελούσε σημαντική βελτιστοποίηση.

Το ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διαρκώς επεκτείνεται με νέα έργα που στοχεύουν στην αύξηση της ικανότητας μεταφοράς για την ασφαλή και αξιόπιστη εξυπηρέτηση των χρηστών (παραγωγών και καταναλωτών), την απορρόφηση των δικτύων ΑΠΕ καθώς και την ενίσχυση των διασυνδέσεων με συστήματα μεταφοράς άλλων χωρών.

Τέλος, εκτός από τα νέα έργα πολύ σημαντικό κομμάτι αποτελεί και η συντήρηση των υπάρχουσών εγκαταστάσεων όπως αυτές περιγράφηκαν στην εργασία ούτως ώστε αυτές τόσο να λειτουργούν αποδοτικά και με ασφάλεια.

- [1]. Μπάλτσου Γεωργία
- [2]. <http://www.wikipedia.org>
- [3]. «Η ιστορία της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα», Βλάχης Αγτζίδης, 2013
- [4]. «Διασώζοντας τη μνήμη μιας δημόσιας εταιρείας», Μαρία Μαυροειδής, 2013
- [5]. «Μνήμες και εικόνες από λιγνίτη. 60 χρόνια ενέργεια για την Ελλάδα», 2η έκδοση, ΔΕΗ, 2010
- [6]. Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς(ΜΑΣΜ) περιόδου 2010-2014, ΔΕΣΜΗΕ, 2010
- [7]. <http://www.kafeneio-megalopolis.gr>
- [8]. <http://www.paranestienergy.wordpress.com>
- [9]. «Παραγωγή Μεταφορά Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας», Δρ Βασίλειος Νταφόπουλος, ΤΕΙ Λάρισας-τμήμα ηλεκτρολογίας
- [10]. ΑΔΜΗΕ, 2013
- [11]. «Εξέλιξη της κατανάλωσης έργου ισχύος και μέτρα για τον περιορισμό της», Ηλ. Αντωνίου
- [12]. «Έργος ισχύος και τρόποι αντιστάθμισής της», Θανάσης Καρακατσάνης, 2009
- [13]. «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Γαβριήλ Γιαννακόπουλος-Νικόλαος Βοβός, 2008
- [14]. <http://www.tradekorea.com>
- [15]. «Ηλεκτρολογία τεχνολογικής κατεύθυνσης Γ' λυκείου», Ανδρέας Βιδιαδάκης- Χαράλαμπος Κανελλόπουλος- Αθανάσιος Μπινιάρης- Γεώργιος Χατζαράκης, 1999

[16]. «Μελέτη σφαλμάτων σε γραμμές μεταφοράς», Κωνσταντίνος Εξαδάκτυλος

[17]. <http://www.te.com>

[18]. <http://www.newellporcelain.com>

[19]. «Βιομηχανικές εγκαταστάσεις-υποσταθμοί» Π.Κεμίδης – Δ. Μπαργιώτας- Χρ. Σανδαλίδης

[20]. «Γείωση Υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ», Δημήτριος Δρόσος, 2013

[21]. <http://www.bitolkengin.com>

[22]. «Δείκτες αξιοπιστίας λειτουργίας των υποσταθμών του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας», Αφροδίτη Κατερινοπούλου- Χρυσούλα Κατσέλου, 2004

[23]. ΔΕΔΔΗΕ

[24]. <http://www.alibaba.com>

